

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE INVESTIMENTO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS PARA PEQUENAS EMPRESAS E
EDIFICAÇÕES**

ARTHUR SANTOS LIMA

ORIENTADOR: FÁBIO ZANCHETTA, DR. (ENC/UnB)

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL
EM ENGENHARIA CIVIL**

BRASÍLIA / DF: DEZEMBRO / 2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E
AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE INVESTIMENTO EM SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS PARA PEQUENAS EMPRESAS E
EDIFICAÇÕES**

ARTHUR SANTOS LIMA

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

APROVADA POR:

**FÁBIO ZANCHETTA, Dsc. (UnB)
(ORIENTADOR)**

**CLÁUDIA MARCIA COUTINHO GURJÃO, Dsc. (UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**IVO SECHI NAZARENO, Dsc. (ANEEL)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

DATA: BRASÍLIA/DF, 05 de DEZEMBRO de 2019.

FICHA CATALOGRÁFICA

LIMA, ARTHUR SANTOS
ANÁLISE DE INVESTIMENTO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA
PEQUENAS EMPRESAS E EDIFICAÇÕES
[Distrito Federal] 2019.
xiii, 96 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2019)
Monografia de Projeto Final - Universidade de Brasília. Faculdade de
Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1. Sistemas Fotovoltaicos 2. Análise de Investimentos
3. Tecnologia 4. Pequenos Negócios
5. Didática 6. Comunicação
I. ENC/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LIMA, A. S. (2019). ANÁLISE DE INVESTIMENTO EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA PEQUENAS EMPRESAS E EDIFICAÇÕES, MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, BRASÍLIA, DF, 96 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Arthur Santos Lima

TÍTULO DA MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL: Análise de investimento em sistemas fotovoltaicos para pequenas empresas e edificações

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2019

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

ARTHUR SANTOS LIMA

QSD 05, CASA 07 – TAGUATINGA SUL

72020-050 - Brasília/DF – Brasil

E-mail: Arthur.lima.enc@gmail.com

AGRADECIMENTOS

Cada pessoa, em sua natureza, é dotada de grande potencial, cuja a chave para se traduzir à realidade esse potencial é a disciplina, a autenticidade e a coragem. Agradeço a todas as pessoas que nutriram essas virtudes em minha vida até aqui.

À minha família, pelo ingrediente essencial da vida, seu amor incondicional.

Rivânia Mendes, meu anjo da guarda. Agradeço pela minha vida e o seu resgate. Rezo para que possa retribuir a você o bem que me faz.

Pâmela Kikuchi, que em sua imensa sensibilidade orientou minhas percepções sobre amor e empatia. Ainda que palavras tenham o poder de direcionar a mente à consciência, são exemplos reais que dialogam diretamente com ela.

Lineu Pedroso, professor de imensa ética de trabalho e bom humor, busca em sua mais pura forma construir pessoas mais responsáveis e protagonistas de mudanças inteligentes.

Eugênia da Fonseca, professora de corpo e alma, dedicada a não somente a formação de engenheiros e profissionais, mas pessoas confiantes em seu próprio potencial e conscientes do potencial daqueles ao redor delas.

Alexandre Jun, o melhor e mais leal amigo que alguém pode ter. Sou grato a sua generosidade, sinceridade e esperança em todas as pessoas. De todas as pessoas que conheço, você está entre aquele seleto grupo na qual o amor é incondicional.

Marcos Honorato, professor de grande excelência profissional e exemplo de superação, perseverança e concentração. Em minhas experiências em sua sala de aula, pude lentamente perceber os efeitos poderosos da disciplina, maturidade e concentração em um objetivo.

Fábio Zanchetta, orientador e professor. Agradeço pela confiança depositada e a liberdade

Vladimir Barban, professor e mentor. Agradeço por sua dedicação e profissionalismo. Percebo em ti virtudes de paciência, de esperança e de trabalho duro.

Thaís Pacheco, por sua imensa empatia e equilíbrio. Admiro e agradeço a ti pelos momentos que vivemos juntos, e as histórias que compartilhamos.

Michelle Andrade, professora de grande resiliência. Você foi um exemplo de liderança, atitude e força de vontade em nossa curta temporada de aulas. Talvez, a mais difícil das virtudes é aquela que só se amadurece na dificuldade, mas que sem ela, não podemos desfrutar inteiramente das vitórias.

Rebeca Borges, amiga e confidente. Alguém que adoro compartilhar planos, e sonhos. Adoro ouvir e ajudar, ser ouvido e ajudado. Obrigado pela sua confiança e o brilho em seus olhos ao olhar para o futuro com esperança de conquistar o que quer que seja.

Concreta, a discreta porta amarela que reúne amigos e ambiciosos profissionais. Sempre o mesmo lugar, nunca a mesma experiência.

Callebe Mendes, irmão, amigo e companheiro. Você foi para mim a prova viva de que podemos construir grandes relacionamentos dando o primeiro passo. O exemplo mais forte que tenho de uma pessoa líder e capaz de unir grandes talentos em um *Mastermind*.

Elias Santos, irmão e mentor. Aquele que me desafia e completa, a me tornar a melhor versão que posso ser, e igualmente, busco provocar ao potencial máximo.

Eurípedes Mendes, sócio, companheiro e amigo. Agradeço imensamente pelos seus sinceros conselhos, oportunidades e desafios.

Luiz Fernando Almeida de Domenico, mentor. Nossa conversa foi para mim um verdadeiro marco, e a consciência ali despertada me fez nutrir temperamento e coragem para todos os desafios.

Antônio Hildenberg, sócio, parceiro e grande amigo. Você representou para mim em toda a jornada na universidade uma pessoa capaz de construir uma mudança verdadeira e com integridade. Hoje, estar junto contigo para alcançar nossos sonhos é para mim uma medalha de ouro. São amigos e aliados como você, que tornam grandes sonhos em realidade.

RESUMO

Ao explorar as características de uma proposta, é primordial que se compreenda os conceitos e características inerentes desta, para que ao final de uma cuidadosa análise, seja elaborada uma opinião consciente e realista sobre o que se apresenta. Este trabalho busca auxiliar o empreendedor, que diante de muitas alternativas para alocar capital, ou elevar a eficiência de uma empresa, precisa analisar diferentes conceitos e juntar partes de muitos conhecimentos para realizar projetos eficientes e efetivos ao que se propõem. Inicialmente, este texto busca apresentar a tecnologia fotovoltaica, em seu contexto, sua evolução, sua aplicação civil, seus parâmetros fundamentais, a natureza econômica da sua implantação, os aspectos econômicos adjacentes, aspectos burocráticos e governamentais. Em seguida, apresentar maneiras de interpretar informações a respeito da tecnologia, e apresentar as vantagens possíveis na atualidade para o empreendedor. O exemplo, orientado a destacar os motivadores de cada decisão, e o impacto de cada variável, busca resumir e referenciar o exposto na primeira parte, para demonstrar que simplificando conceitos, após suficiente compreensão técnica, torna a decisão a respeito de sua natureza econômica mais assertiva e consciente de todos os riscos que se corre ao optar pela implantação de um sistema fotovoltaico de micro ou mini geração de energia elétrica. Em seu estágio final, o texto busca explorar percepções macroeconômicas e governamentais, para que, de maneira direta, seja possível interligar interesses de múltiplos agentes e promover a disseminação de alternativas tecnológicas à população brasileira de maneira equilibrada e sustentável economicamente. O objetivo principal se trata em comunicar efetivamente o funcionamento, a viabilidade econômica e a estratégia financeira para implantar um sistema fotovoltaico conectado à rede. Com o estudo de caso apresentado como evidência, fica consolidado que neste tempo, 2019, é viável economicamente e financeiramente instalar um sistema fotovoltaico conectado a rede ao conectar agentes do setor de maneira inteligente, porém o risco regulatório ameaça a viabilidade do projeto nos anos vindouros.

Palavras-chave: Sistemas Fotovoltaicos, Análise de Investimentos, Sustentabilidade Econômica, Inovação e Tecnologia, Sustentabilidade;

ABSTRACT

When exploring the characteristics of a proposal, it is essential to understand the concepts and inherent characteristics of it, so that at the end of a careful analysis, a conscious and realistic opinion about what is presented is elaborated. This work seeks to help the entrepreneur, who faced with many alternatives to allocate capital, or increase the efficiency of a company, needs to analyze different concepts and bring together many pieces of knowledge to carry out efficient and effective projects. Initially, this text seeks to present photovoltaic technology, in its context, its evolution, its civil application, its fundamental parameters, the economic nature of its implementation, the adjacent economic aspects and finally, the bureaucratic and governmental aspects. Then present ways of interpreting information about this technology, and introduce the possible advantages to the entrepreneur today. The example, aimed at highlighting the motivators of each decision, and the impact of each variable, seeks to summarize and reference the above, to demonstrate that simplifying concepts, after sufficient technical understanding, makes the decision about their economic nature more assertive and the decision maker aware of all the risks that are taking place when opting for the implantation of a photovoltaic system of micro or mini generation of electric power. In its final stage, the text seeks to explore macroeconomic and governmental perceptions, so that, directly, it becomes possible to interconnect interests of multiple agents and promote the dissemination of technological alternatives to the Brazilian population in a balanced and economically sustainable manner. The main goal is about communicating the operation, the economic viability and the financial strategy to implement an on grid photovoltaic system. With the case study presented as evidence, it is consolidated in this period of 2019, that it is economically and financially viable to install a photovoltaic system by connecting industry players in an intelligent way, but the regulatory risk threatens the viability of the project in the coming years.

Keywords: Photovoltaic Systems, Investment Analysis, Economic Sustainability, Innovation and Technology, Sustainability;

SUMÁRIO

1.	Introdução	1
1.1	Contextualização	1
1.2	Motivação e Justificativa.....	2
1.3	Hipótese	2
1.4	Objetivos	3
1.5	Estrutura do Trabalho.....	3
2.	Revisão Bibliográfica.....	5
2.1	Histórico, contexto e perspectiva da tecnologia fotovoltaica	6
2.2	Princípios de Funcionamento do Sistema Fotovoltaico	14
2.2.1	A irradiação solar da região onde se instalará o sistema.....	16
2.2.2	Fontes de sombreamento na área útil de ocupação dos módulos;	23
2.2.3	Sistemas <i>On grid</i> e <i>Off Grid</i>	32
2.2.4	Inclinação dos módulos e a latitude do sistema	33
2.2.5	Arranjo dos módulos na área disponível	37
2.2.6	Perda de eficiência dos módulos ao longo do tempo	39
2.2.7	Temperatura de operação das células fotovoltaicas	39
2.3	PRINCÍPIOS ECONÔMICOS DE ANÁLISE	41
2.3.1	O custo da energia elétrica	41
2.3.2	Bandeiras Tarifárias e tarifas básicas.....	44
2.3.3	EVOLUÇÃO INFLACIONÁRIA DE ENERGIA.....	48
2.3.4	custo de oportunidade	49
2.3.5	fluxo de caixa.....	51
2.4	Legislação e Prescrições normativas	53
2.4.1	ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA.....	54
2.4.2	CEB – companhia energética de Brasília.....	55
2.4.3	IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis Meio Ambiente	55
2.4.4	CREA – CONSELHO Regional de Engenharia e Agronomia.....	56
2.4.5	CBMDF – Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal	56
2.5	Tópicos conclusivos	57
3.	Metodologia Aplicada.....	61

4.	Apresentação e Análise dos Resultados consolidados	67
4.1	Custo de Oportunidade – Aquisição, Instalação, Manutenção e <i>Funding</i>	68
4.1.1	Aquisição	68
4.1.2	Instalação	69
4.1.3	Manutenção	69
4.1.4	<i>Funding</i>	70
4.2	A Irradiação Solar	70
4.3	Arranjos, Inclinação e espaçamentos.....	71
4.4	Perda de eficiência dos painéis	72
4.5	Influência da Temperatura e do Clima	73
4.6	Inflação da Tarifa de Energia Elétrica	74
4.7	Depreciação Acelerada do Ativo Tangível.....	76
4.8	Incentivo sobre IPTU	77
4.9	Fluxo de Caixa, VPL, Aplicação e <i>Payback</i>	78
4.9.1	Taxa Interna de Retorno e Taxa Mínima de Atratividade	84
4.10	Síntese	84
4.11	Redução da Pegada Ecológica	85
4.12	Tópicos conclusivos.....	86
5.	Conclusão.....	91
5.1	Sugestão para trabalhos futuros	93
6.	Referências Bibliográficas	95

<i>Figura 1 - Eficiência de Células Fotovoltaicas (1976-2019), Fonte: NREL (2019).....</i>	<i>7</i>
<i>Figura 2 - Eficiência de Módulos Fotovoltaicos (1988-2018), Fonte: NREL (2019).....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 3 - Participação de alternativas tecnológicas no mercado Fonte: NREL, 2016.</i>	<i>10</i>
<i>Figura 4 - Evolução do custo da célula fotovoltaica; Fonte: Bloomberg (2016)</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5 - Worldwide growth in cumulative capacity of solar photovoltaics from 1992 to 2017 Source: Created by writers using data collected from Global Market Outlook for Solar Power 2016–2020, Global Market Outlook for Solar Power 2015–2019, Global Market Outlook for Solar Power 2014–2018, and Snapshot of Global PV 1992–2014.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6 - Componentes das camadas dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Blue Sol Blog (2016).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7 - Componentes do Sistema (a), Fonte: Portal Solar (2019).....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 8 - Componentes do Sistema (b), Fonte: Manual de Engenharia – Blue Sol Educacional.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 9 - Caixa de Junção Fonte: Introdução a sistemas de energia solar fotovoltaica – Blue Sol Educacional.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10 - Descrição ilustrativa do conceito de HSP, TAVARES, J. (2014).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 11 - Órbita da Terra em torno do Sol, Fonte: Magnoli, D.; Scalzaretto. R. Geografia, espaço, cultura e cidadania. São Paulo. Moderna, 1998 v. 1 (adaptado)</i>	<i>18</i>
<i>Figura 12 - Mapa Solar Anual Brasil Fonte: Atlas Solarimétrico, 2000.</i>	<i>19</i>
<i>Figura 13 - Irradiação comparada para inclinações ótimas (1 eixo rastreado mensalmente) contra inclinações estáticas (20°).</i>	<i>20</i>
<i>Figura 14 - Impacto de rastreamento solar em um eixo, análise comparativa.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15 - Obtenção das Coordenadas do Local Fonte: Google Plataform.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 16 - Universidade de Brasília, Brasília DF. Dados solarimétricos, Fonte: SunData.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 17 - Ângulos para análises solarimétricas. Fonte: Universidade de Lisboa.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 18 - Cálculo do alcance de sombras entre fileiras de módulos - Acervo Pessoal.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 19 - Sombreamento entre módulos fotovoltaicos.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 20 - SEBRAE Nacional, Asa Sul – Acervo Pessoal</i>	<i>26</i>
<i>Figura 21 - Sombreamento em sistema fotovoltaico, por obstáculo arquitetônico. Fonte: Portal Solar, 2019.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 22 - Sombreamento em sistema fotovoltaico, por obstáculo natural. Simulado em programa de computador Fonte: Acervo Pessoal, Sketchup 2017</i>	<i>27</i>
<i>Figura 23 - Sombreamento em sistema fotovoltaico, por obstáculo urbano.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 24 - Arranjo simples ou duplo para módulos fotovoltaicos.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 25 - Padrões de Consumo</i>	<i>28</i>
<i>Figura 26 - Sistema em série e em paralelo, respectivamente. Fonte: MPPT Solar.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 27 - Associação de módulos em série sob efeito de sombreamento Fonte: Renewable Energy e Efficient Electric Power Systems, Gil M. Masters da Universidade de Stanford</i>	<i>30</i>
<i>Figura 28 - Influência da utilização de diodos de desvio (by-pass).....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 29 - Diagrama de utilização de diodos de bloqueio.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 30 - Sistema On Grid Fonte: Strom Brasil, 2019.</i>	<i>32</i>
<i>Figura 31 - Sistema Off Grid Fonte: Strom Brasil, 2019.</i>	<i>33</i>
<i>Figura 32 - Rastreadores Solares Fonte: ONU 2016.</i>	<i>34</i>
<i>Figura 33 - Rastreador Solar, SP.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 34 - Norte Magnético, aproximadamente 23°O em SP (BRA)</i>	<i>36</i>

<i>Figura 35 - Rastreamento Solar contra posicionamento estático</i>	<i>37</i>
<i>Figura 36 - SEBRAE Nacional, Asa Sul - Acervo Pessoal</i>	<i>38</i>
<i>Figura 37 - Decaimento da eficiência de conversão em corrente contínua de módulos fotovoltaicos.</i>	
<i>Fonte: Trina Solar Pannels (2015).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 38 - Influência da temperatura em células fotovoltaicas de silício, Fonte: Manual de Engenharia, 2014.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 39 - Exemplo de catálogo de módulo fotovoltaico de células de silício (Trina Solar)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 41 - Site CEB (2019). Adaptado.</i>	<i>41</i>
<i>Figura 41 - Custo adicional das bandeiras tarifárias, Fonte: ANEEL 2017</i>	<i>45</i>
<i>Figura 42 - Bandeiras aplicadas de 2015 a 2017.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 43 - Evolução da tarifa por semestre. Dados: CEB, 2015.</i>	<i>47</i>
<i>Figura 44 - Tax Shield Fonte: Investopaedia.com</i>	<i>51</i>
<i>Figura 45 - Fluxo de instalação do leitor bidirecional para compensação de energia gerada. ANEEL (2014)</i>	<i>54</i>
<i>Figura 46 - Empresa analisada para estudo de caso Fonte: Google Maps (2019)</i>	<i>67</i>
<i>Figura 47 - Eurípedes Mendes Centro de Beleza, salão de beleza de luxo.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 48 - Manual de Operação e Manutenção. Fonte: BlueSol, 2015</i>	<i>69</i>
<i>Figura 49 - Disposição dos Módulos – Acervo Pessoal</i>	<i>72</i>
<i>Figura 50 - Estudo da temperatura ambiente de Brasília, DF 1961-1990 Fonte dos dados: INMET.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 51 - Ajuste Anual da Tarifa de Energia Elétrica</i>	<i>76</i>
<i>Figura 52 - Representação gráfica do fluxo de caixa.....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 53 - Fluxo de caixa de orçamento comercial</i>	<i>79</i>
<i>Figura 54 - Fluxo de Caixa - Cenários 1 e 2</i>	<i>80</i>
<i>Figura 55 - Inflação histórica brasileira; Fonte: IBGE</i>	<i>83</i>
<i>Figura 56 - Taxa de Longo Prazo (TLP); Fonte: BNDS - TLP.....</i>	<i>83</i>
<i>Figura 57 - Resumo da composição de custos de um SFCR</i>	<i>87</i>

<i>Tabela 1 - Inclinações Ideais nos estados brasileiros. Fonte: Portal Solar, 2019.</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 2 - Termos técnicos mais usados no setor Fonte: NeoSolar e SolarCentral (2018)</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 3 - R\$/kWp Sistemas Dimensionados</i>	<i>43</i>
<i>Tabela 4 - Custo de Instalação (Mão de Obra) dos componentes do sistema.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabela 5 - A Irradiação Solar Disponível.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabela 6 - Impacto da temperatura na eficiência do SFCR.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabela 7 - Inflação Histórica Tarifária da Energia Elétrica. Fonte: BACEN</i>	<i>75</i>
<i>Tabela 8 - Depreciação Acelerada do Ativo Tangível</i>	<i>77</i>
<i>Tabela 9 - Fluxo de Caixa Anual - Eurípedes Mendes Centro de Beleza.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabela 10 - Aplicação de segunda ordem.....</i>	<i>82</i>
<i>Tabela 11 - Resumo do fluxo de caixa no início do investimento</i>	<i>85</i>

<i>Equação 1 – Distância ótima entre base de módulos.....</i>	<i>25</i>
<i>Equação 2 – Distância entre módulos</i>	<i>25</i>
<i>Equação 3 - Valor Presente Líquido</i>	<i>52</i>
<i>Equação 4 - Payback.....</i>	<i>53</i>
<i>Equação 5 – Taxa Interna de Retorno</i>	<i>53</i>
<i>Equação 6 - Custo do sistema, orçado em mercado (2019)</i>	<i>68</i>

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

“Ladies and gentlemen, behold the miracle of modern science. The gas lamp is dead.
Long live the electric light.”

Thomas A. Edson

Na quinta avenida de Nova York, J.P Mogan Junior contrata a empresa de Thomas A. Edson, Edson General Eletric, para instalar uma nova tecnologia. A casa rapidamente se torna um laboratório para os experimentos com eletricidade de Edson. São quase 1300 metros de fios que passam pelas paredes e pelo teto da casa, e são instaladas quase 400 lâmpadas elétricas em formato de bulbo, entre as primeiras a serem manufaturadas. Depois de meses de erros e acertos, a casa estava finalmente pronta para ser o palco de uma nova era, a era da eletricidade. Para as pessoas presentes na primeira noite de apresentação desta novidade, parecia mágica (The Men Who Built America, 2012)

Embora a história deste ponto em diante ainda tivesse muitas reviravoltas, este pequeno trecho retrata o que se propõe a ser este trabalho. Uma análise da relação entre investidores e cientistas, que experimentam inovações em busca de oportunidades melhores para endereçar suas necessidades, investir seu dinheiro e promover uma oportunidade benéfica às pessoas.

Depois de cerca de 250 anos, a história se repete, ou pelo menos, tem muitas similaridades. Um médico, ou um engenheiro faz um estranho investimento em um sistema fotovoltaico em sua residência, ou em sua empresa. Durante dias, técnicos e engenheiros invadem suas instalações e inserem uma nova tecnologia que parece fazer algo mágico, transformar luz solar em eletricidade. Essas pessoas, buscam melhoria, retorno. Investem em algo novo, inexplorado e complexo para a maior parte das pessoas, até que se simplifique e se torne uma tecnologia que mude fundamentos da sociedade.

A tecnologia fotovoltaica, ou seja, que transforma irradiação solar em corrente elétrica, tem demonstrado grande potencial de amadurecimento para responder grandes desafios da humanidade no presente.

1. Possibilita a geração de energia para androides e unidades artificiais independentes.
2. Sustenta satélites e tecnologias dependentes de eletricidade em órbita.
3. Oferece uma alternativa para geração de energia que seja sustentável no longo prazo.
4. Torna mais segura uma matriz energética concentrada em poucas alternativas.
5. Permite uso de um recurso abundante, a luz do sol.

6. Demonstra ser uma alternativa segura de investimento econômico, na conjuntura atual (2019) do sistema de geração e de distribuição elétrica.

Naturalmente, não é tão simples transformar luz em eletricidade, porém o advento da tecnologia e avanço da ciência e da comunicação permitem encarar novos horizontes e limites para nossa forma de viver.

1.2 Motivação e Justificativa

Este trabalho propõe analisar o investimento na tecnologia fotovoltaica para pequenas edificações, expondo exaustivamente as principais variáveis a serem observadas no uso da tecnologia.

Diante do que já é uma realidade comercial, o trabalho busca traduzir para o empresariado e às pessoas, como a tecnologia pode ser encarada. Ao que se deve estar atento, que conceitos precisam ser aprendidos e, finalmente, transmitir o conhecimento adquirido após décadas de estudo para o bem da sociedade em linguagem acessível.

Algumas situações sugerem que esta alternativa tem vantagens enormes frente a outras, e que por insegurança ou desconhecimento, é ignorada pelas pessoas que mais poderiam se beneficiar dela.

Em síntese, a principal motivação deste trabalho é tornar acessível o conhecimento necessário para usufruir de enormes vantagens financeiras e funcionais. Adicionalmente, o texto também busca oferecer perspectiva para os agentes que são afetados quando a tecnologia é aplicada. Há grande potencial, e boas oportunidades a serem trabalhadas para tornar a sociedade mais eficiente, simplesmente alinhando interesses e organizando acordos.

1.3 Hipótese

Quando uma equação matemática é proposta para descrever um fenômeno, seu sucesso pode ser medido pela proximidade entre a realidade e a previsão calculada precedente ao experimento de prova.

Este trabalho busca mapear e organizar todo o processo de compra de um sistema fotovoltaico, em uma linguagem simples. O sucesso deste trabalho se consolida ao transmitir ao leitor a confiança necessária para realizar o investimento seguro de todas as etapas e riscos que assume. E para este caso específico, que o pequeno empresário ao perceber o fluxo que deve seguir para gerar eficiência para sua empresa por meio da tecnologia fotovoltaica, o faça com previsibilidade e segurança.

Com inteligência financeira, e ampla perspectiva das possibilidades da tecnologia moderna, o leitor se tornará consciente de uma excelente opção ainda com pouca visibilidade, e sem interesses adjacentes diferentes dos seus.

Em síntese, a principal hipótese é de que um leitor consciente de todas as principais implicações de uma decisão de investimento, estará seguro para tomar essa decisão.

1.4 Objetivos

Os objetivos gerais deste trabalho:

- a. Analisar a viabilidade técnica e econômica dos projetos de implementação de tecnologia fotovoltaica em pequenas edificações comerciais.

Os objetivos específicos do trabalho:

- a. Apresentar ideias de aplicação em larga escala da tecnologia;
- b. Elaborar diretrizes fundamentadas para um leitor que opte por investir na tecnologia fotovoltaica;
- c. Analisar um estudo de caso com a metodologia e referência bibliográfica consolidada.

1.5 Estrutura do Trabalho

No primeiro bloco, serão apresentados todos os fundamentos necessários para compreensão da tecnologia e do investimento adjacente. Exemplos incluem: Condições bioclimáticas e seus impactos, dados relevantes para a tecnologia e a decisão de investimento, nomenclatura e esclarecimento técnico de variáveis de interesse, fontes confiáveis de informação para construção do corpo do investimento, situações econômicas externas ao sistema que interferem no seu resultado econômico, caracterização de metodologias de investimento tradicionais, prescrições normativas e legislação tangente ao tema.

Na segunda parte, quando o leitor estiver consciente da opção de investimento e suas variáveis mais específicas, será apresentado um estudo de caso exemplificando a aplicação do conhecimento.

Na terceira e última parte, o trabalho busca explorar possibilidades teóricas de aplicação do conhecimento em maior escala, utilizando-se de hipóteses específicas para identificar o público adequado para incentivar o uso da tecnologia. Além disso, apresentar metodologias e diretrizes que tentam dimensionar o impacto econômico ao financiar sistemas de microgeração em escala nacional. Provoações sobre o investimento em

tecnologia no país para produção nacional de tecnologia fotovoltaica de última geração e suas implicações. Em seus tópicos conclusivos, o trabalho também se propõe a construir material didático para promover o conhecimento associado a tecnologia e análise de investimentos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para facilitar a compreensão do texto, abaixo será apresentado brevemente definições simples de termos necessários para início do entendimento dos conceitos fundamentais para a abordagem analítica posterior.

Irradiância solar – Medida da potência transmitida pelo Sol sobre um dado plano por unidade de superfície.

Irradiação Solar – Energia incidente por unidade de superfície de um dado plano, obtida pela integração da irradiância durante um intervalo de tempo.

Horas de Sol Pleno (HSP) – Número de horas com irradiância constante igual a 1 kW/m^2 equivalente a irradiação solar medida ao longo de um período determinado.

Albedo – Parte da radiação solar que chega à superfície da Terra e é refletida pelo ambiente do entorno (solo, vegetação, obstáculos, terrenos rochosos etc.).

Irradiação Difusa – Irradiação solar que atinge a superfície após sofrer espalhamento pela atmosfera terrestre.

Irradiação Direta – Irradiação solar que incide diretamente sobre a superfície, sem sofrer qualquer influência.

Irradiação Global – Quantidade resultante da soma do albedo e das irradiações solares direta e difusa.

Célula Fotovoltaica – Dispositivo elementar especificamente desenvolvido para realizar a conversão direta da energia solar em energia elétrica.

Eficiência (Célula Fotovoltaica) – Relação entre a potência elétrica produzida pela célula fotovoltaica e a potência da energia solar incidente (irradiância).

Módulo Fotovoltaico – Conjunto de células fotovoltaicas interligadas e encapsuladas, com o objetivo de gerar energia elétrica.

Bateria – Dispositivo destinado a armazenar energia elétrica na forma de energia química.

Inversor – Dispositivo responsável pela conversão de uma tensão em corrente contínua proveniente dos geradores ou das baterias para uma tensão em corrente alternada com amplitude e frequência determinadas.

Eficiência (Inversor) – Relação entre a potência de saída e a potência de entrada do inversor.

Sistema “on grid”: sistema de geração de energia fotovoltaica com funcionamento integrado à rede de abastecimento de energia.

Sistema “off grid”: sistema de geração de energia fotovoltaica com funcionamento independente. Necessita de baterias para utilização de energia em horários sem incidência solar.

2.1 Histórico, contexto e perspectiva da tecnologia fotovoltaica

A geração de energia a partir da luz se baseia no efeito fotovoltaico produzido por dispositivos fabricados com materiais semicondutores, chamados células fotovoltaicas, que apresentam uma diferença de potencial entre seus polos quando expostos à radiação solar. Dessa forma, a energia solar fotovoltaica é resultante da conversão direta da iluminação do sol em energia elétrica. (Rüther, Ricardo. 2004)

A eficiência de uma célula corresponde ao percentual de energia solar incidente que é efetivamente transformado em corrente elétrica contínua. É necessário pontuar, que embora células sejam capazes de atingir altas taxas de eficiência, para que a tecnologia seja funcional é necessário que a performance ao longo do tempo, seja de pelo menos 80% da eficiência original após 25 anos de operação e integração entre diferentes componentes de segurança.

As Figuras 1 e 2 deixam apresentados 2 gráficos representativos da evolução tecnológica tanto de células fotovoltaicas (1976-2019), quanto de módulos fotovoltaicos (1988-2018). A informação foi reunida pelo laboratório nacional de energias renováveis dos EUA (NREL), com intuito de acompanhar e favorecer ampla utilização de tecnologias alternativas de grande potencial funcional e econômico.

O principal interesse nesta variável se dá pelo aspecto de que o usuário final estará sendo integrado no setor de energia produzindo um bem de vasto consumo humano e interesse econômico associado.

Os gráficos das Figuras 1 e 2 indicam a tendência de evolução e disponibilidade da tecnologia para mapear o potencial do empreendimento solar, dado que parte do potencial se configura pela disponibilidade da irradiação solar e parte pela capacidade de traduzir o recurso eficiente e efetivamente. É interessante notar que existem mais alternativas de material condutor, mas que apresentam obstáculos naturais também em relação ao desenvolvimento, preço e eficiência. Alternativas são: Filme fino a partir de silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio (CIS), disseleneto de cobre, índio e gálio (CISG) e telureto de cádmio (CdTe). Além destas, células multijunção para concentração (CPV) e células orgânicas (DUARTE, M. M. – 2016).

Best Research-Cell Efficiencies

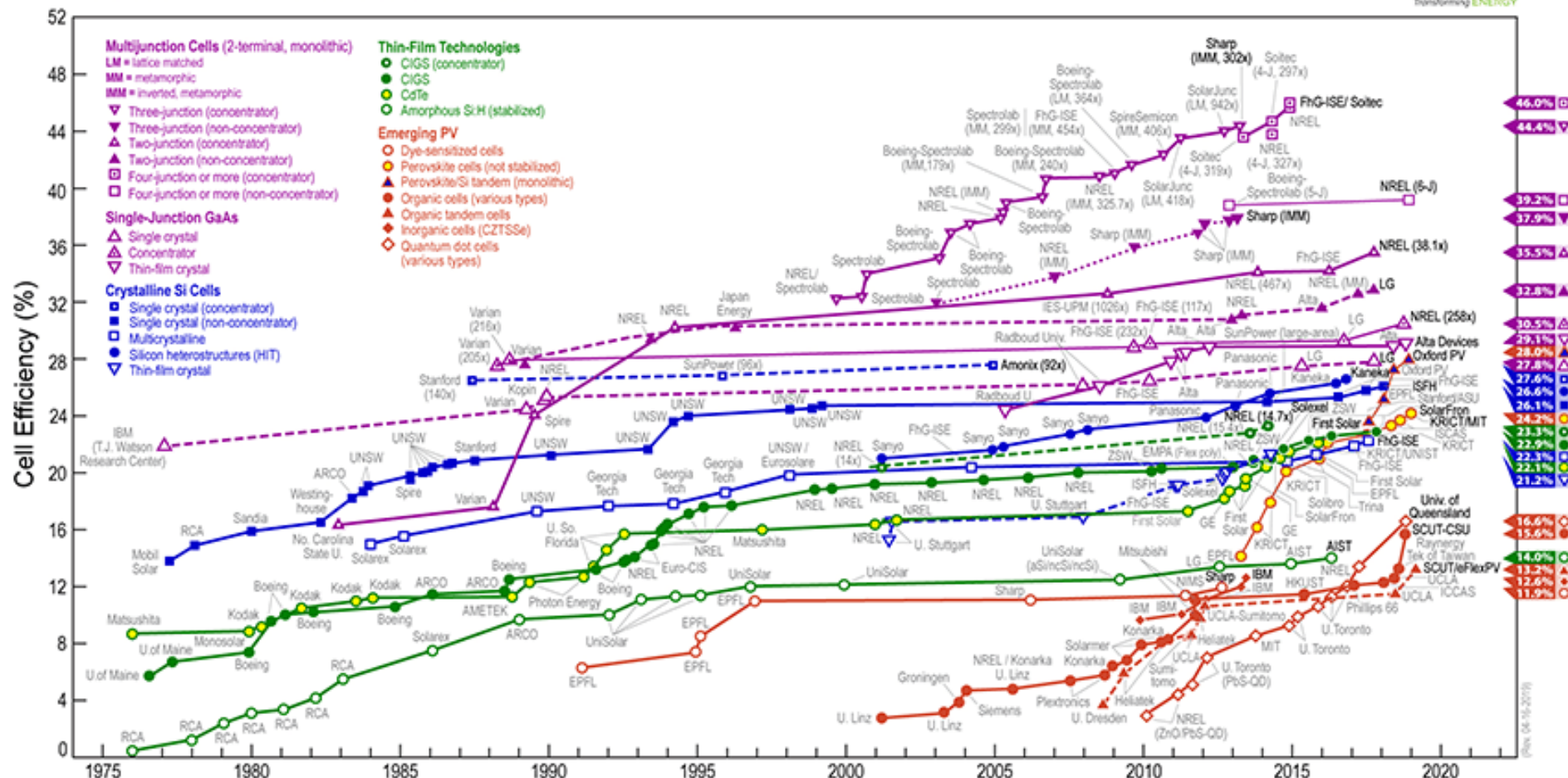


Figura 1 - Eficiência de Células Fotovoltaicas (1976-2019), Fonte: NREL (2019)

Champion Module Efficiencies

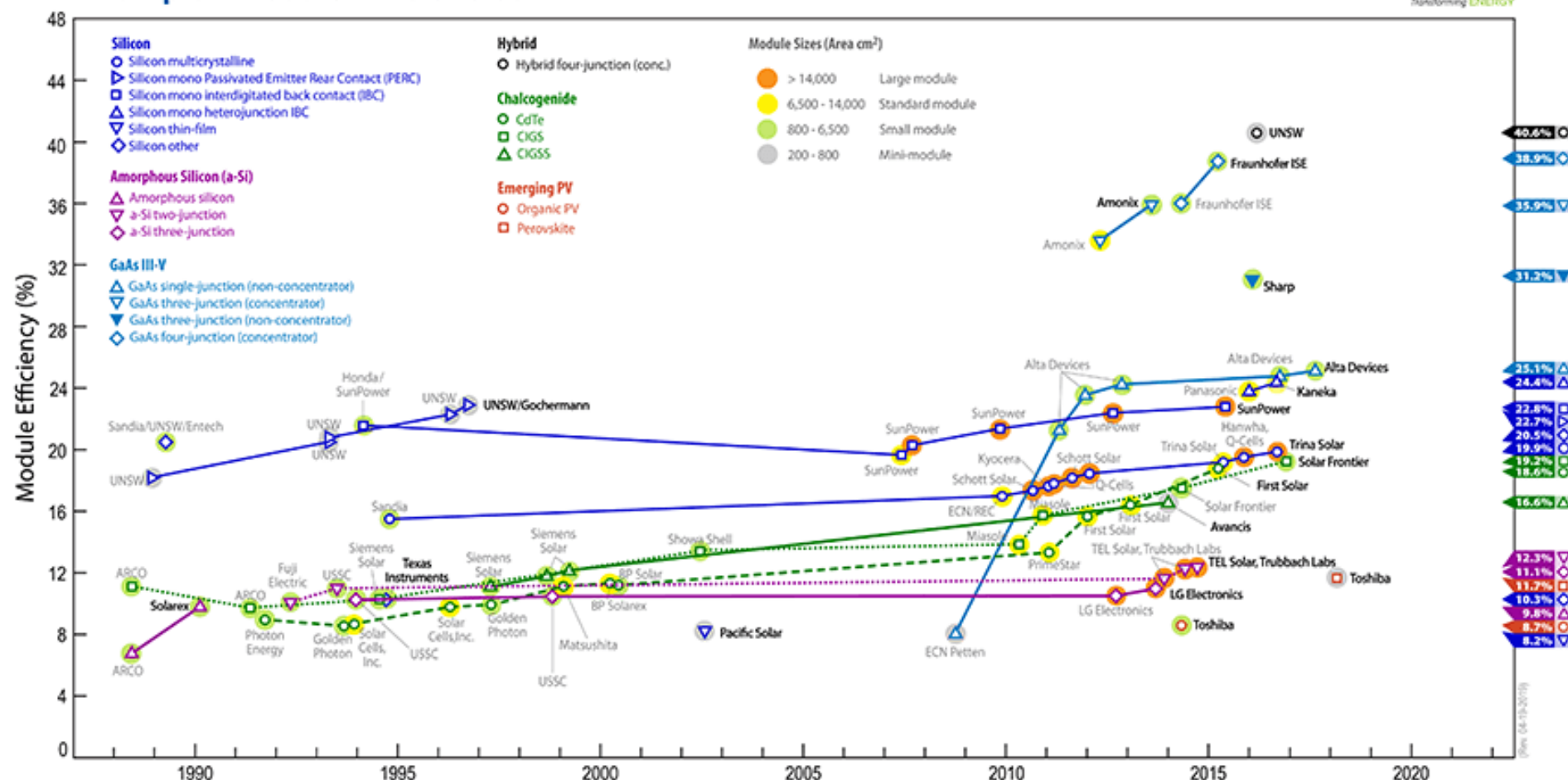


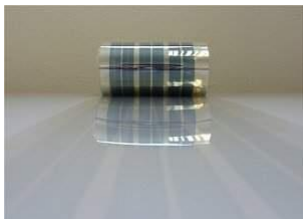


Figura 2 - Eficiência de Módulos Fotovoltaicos (1988-2018), Fonte: NREL (2019)

Em síntese, as células fotovoltaicas são divididas em três gerações. De maneira simples, a escolha final da tecnologia dependerá da disponibilidade e relação custo/benefício.

1. A primeira é composta pelas células de silício monocristalino (m-Si) e policristalino (p-Si).
2. A segunda geração, denominada comercialmente de filmes finos, é produzida com silício amorfo (a-Si) e outros materiais, incluindo disseleneto de cobre e índio (CIS) e telureto de cádmio (CdTe).
3. A terceira geração, ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento, oferece maior eficiência, mas ainda não é produzida em escala comercial.

Até 2014, a maior parte do mercado fotovoltaico foi representado pela primeira geração (m-Si e p-Si), por ser considerada uma tecnologia consolidada, confiável e apresentar a melhor relação custo/eficiência. No mercado, conjuntamente representando mais de 85% dos produtos disponíveis. TAVARES, J. (2014)

	1ª GERAÇÃO	2ª GERAÇÃO	3ª GERAÇÃO
IMAGEM ILUSTRATIVA	 <p>Células de Silício Monocristalino Fonte: Introdução a Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica – BlueSol Educacional</p>	 <p>Módulos flexíveis de Silício Amorfo Fonte: Edifícios Solares Fotovoltaicos – Ricardo Ruther, UFSC, 2004</p>	 <p>Células Fotovoltaicas Orgânicas Fonte: Instituto Nacional de Eletrônica Orgânica</p>
DESCRIÇÃO	Células Rígidas fabricadas a partir de Silício Cristalino	Películas finas aplicadas sobre substratos rígidos	Células com camadas múltiplas e com maior concentração de componentes
VIABILIDADE ECONÔMICA	Representa mais de 85% do mercado. Tecnologia consolidada e confiável e com melhor eficiência comercialmente disponível	Menor eficiência que as células de primeira geração e tem participação pequena no mercado	Tecnologias emergentes, ainda não encontradas no mercado. Potencial de altas eficiências, mas custo não competitivo

Tecnologia	Eficiência da célula	Eficiência do módulo	Participação de mercado**
Silício cristalino			92,5%
Monocristalino	13 a 25,6% *	21,0%	24,5%
Multicristalino	11 a 20,8% *	12 a 17,0%	68,0%
Filme fino			7,5%
Silício Amorfo (a-Si/μ-Si)	4 a 20,4% *	8,1% ***	0,5%
Cádmio Telúrio (Cd-Te)	10 a 21,0% *	9 a 16% **	5%
Cobre Índio Gálio (di) Seleno (CIGS e CIS)	10 a 20,5% *	16 a 22% *	2,0%

NOTAS:

* EFICIÊNCIA MÁXIMA DE CÉLULAS TESTADAS PELO NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (NREL) NOS ESTADOS UNIDOS. EXISTEM OCORRÊNCIAS DE EFICIÊNCIAS MAIORES EM REGIÕES COMO A AMÉRICA LATINA POR EXEMPLO, ATINGINDO EFICIÊNCIAS DE ATÉ 32% COM CÉLULAS MULTICRISTALINAS (FONTE: NREL, 2016).

** PARTICIPAÇÃO DA TECNOLOGIA NA PRODUÇÃO ANUAL EM 2015. (FONTE: FRAUNHOFER IINSTITUTE, 2016).

*** NÃO CONSIDERA OUTRAS TECNOLOGIAS, COMO PROTOCRISTALINO, NANOCRISTALINO, SILÍCIO NEGRO E CÉLULAS FOTOVOLTAICAS ORGÂNICAS (FONTE: MAEHLUM, 2015).

Figura 3 - Participação de alternativas tecnológicas no mercado Fonte: NREL, 2016.

Diante do exposto, a empresa que lidera o setor mundialmente (Fraunhofer ISE) foi consultada em seus relatórios econômicos anuais, a fim de compreender a percepção dos cientistas e empresários que estão na ponta desta revolução e prometem grandes avanços, como acima demonstrados. Segundo o relatório anual (2018-2019), a eficiência comercial disponível a preços competitivos está na faixa de 25.8%, e as células com tecnologia sustentável e resultados consistentes com eficiência recorde de 33.3% em 2018. A tecnologia mais promissora apresentada se trata de células fotovoltaicas multijunção (III-V/Si multi-junction solar cell).

“The combination of silicon with other semiconductor materials is one of the most promising future photovoltaic technologies. With the new laboratory building, Fraunhofer ISE intends to develop path-breaking new solar cell types and technology also in the future, and to contribute to making the German photovoltaic industry internationally competitive.”

Annual Report of 2018/19

De acordo com um relatório elaborado pela IRENA (2016) – International Renewable Energy Agency, o preço dos sistemas fotovoltaicos têm o potencial de cair até 59% até 2025, o que significa em média 5,9% ao ano. (THE POWER TO CHANGE: SOLAR AND WIND COST REDUCTION POTENTIAL TO 2025)

O gráfico da Figura 4 mostra que, embora ainda haja potencial para redução no valor da energia solar, esta já é uma tecnologia bem madura. E que a curva exponencial já passou pelo seu trecho de maior mudança, entre 1977 e 1987. Em 2019, já é plausível afirmar que a tecnologia está entre as tecnologias fonte de energia mais baratas disponíveis. Observar Figura 4 (p.12)

De modo geral, avaliando o contexto mais amplo sobre a tecnologia, é possível perceber que cada vez mais a tecnologia está competindo mundialmente por espaço entre as alternativas tecnológicas mais promissoras do mundo. Várias perguntas são elaboradas sobre o tema, e neste trabalho o intento se traduz em munir o leitor de recursos confiáveis para elaborar suas respostas, e oferecer informações relevantes para sustentar suas próprias hipóteses e conclusões. É claro, que em vista ao caso apresentado, algumas conclusões e observações serão expostas.

Uma das perguntas de maior relevância ao observar o gráfico da Figura 4, de queda de preços, são: Qual o motivo dos preços caírem? E de continuarem a cair?

Segundo analistas do setor elétrico e financeiro, os valores da tecnologia estão correlacionados ao preço do barril de petróleo, taxas de juros, *real state rates*, custo de pesquisa e desenvolvimento, custo da mão de obra de instalação, estruturas suplementares e preço dos painéis¹. O efeito líquido da relação desses principais fatores indica queda conforme a tecnologia evolui e os mercados reagem às inovações.

Fica demonstrado na Figura 5, o gráfico descritivo da exploração da tecnologia solar em escala mundial, o que indica aumento da maturidade e amplitude de aplicação em casos reais. Em termos estratégicos, existe evidência clara de que os preços diminuem, o potencial aplicado cresce, ambos em tendência exponencial.

¹ Um estudo por Kimura e Zissler (2016) mostra que o custo do módulo representa de 30 a 40% do custo do sistema no Japão e 50% na Alemanha.

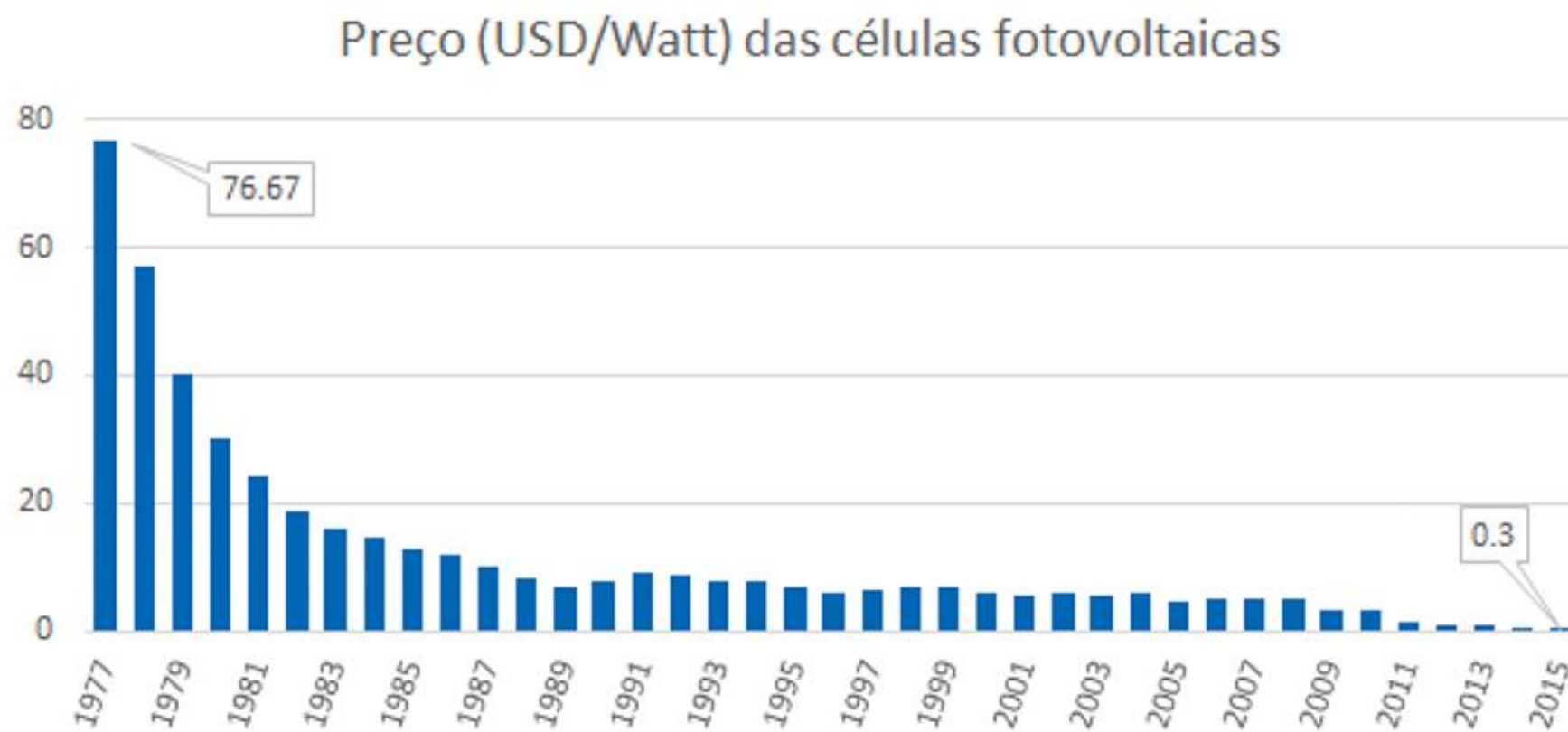


Figura 4 - Evolução do custo da célula fotovoltaica; Fonte: Bloomberg (2016)

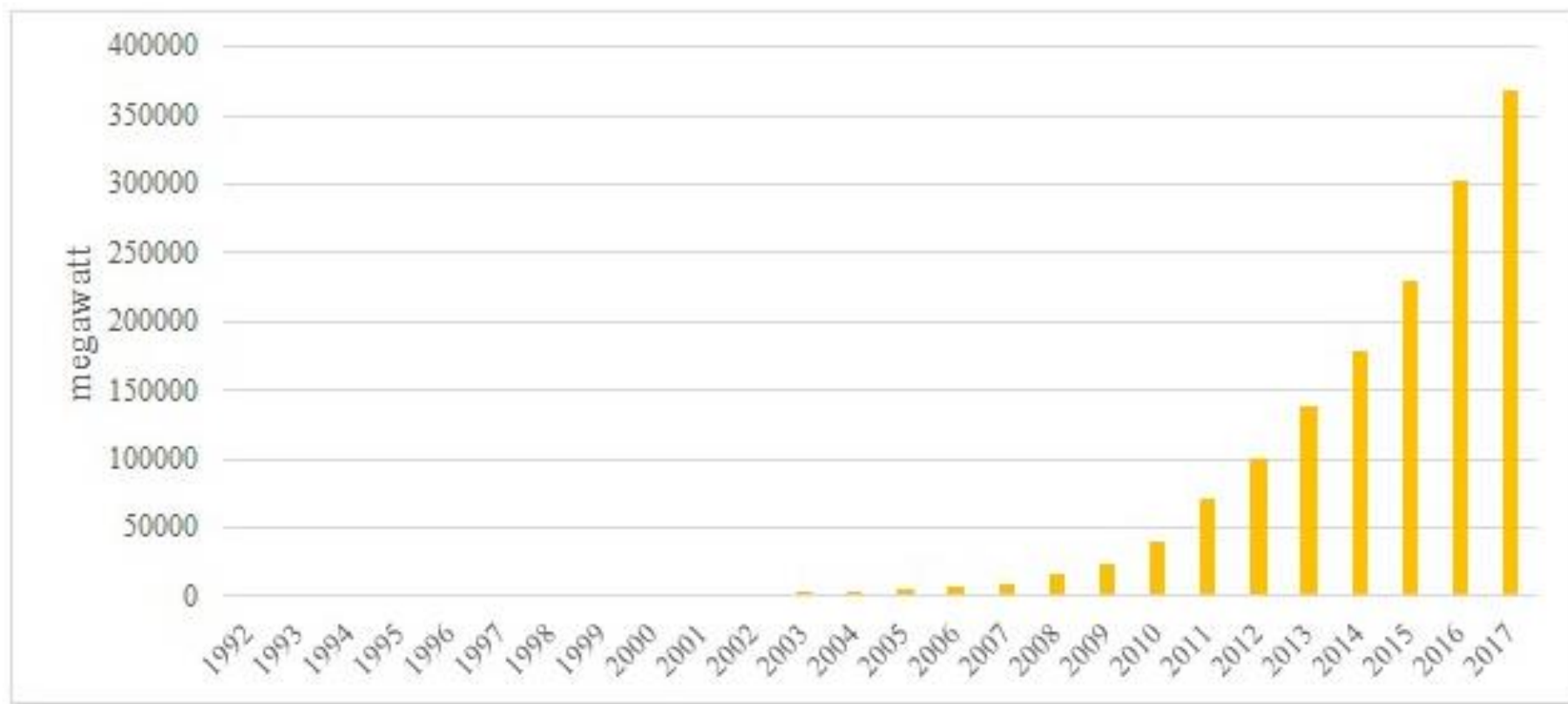


Figura 5 - Worldwide growth in cumulative capacity of solar photovoltaics from 1992 to 2017 Source: Created by writers using data collected from Global Market Outlook for Solar Power 2016–2020, Global Market Outlook for Solar Power 2015–2019, Global Market Outlook for Solar Power 2014–2018, and Snapshot of Global PV 1992–2014.

2.2 Princípios de Funcionamento do Sistema Fotovoltaico

Para compreender bem a dinâmica de funcionamento da tecnologia é necessário que o leitor tome conhecimento de vários fenômenos naturais envolvendo o sistema solar e os componentes do sistema fotovoltaico. Para maior facilidade de compreensão, o sistema será apresentado por cada componente, e apresentado em tópicos cada variável de interesse, além do racional desenvolvido pela comunidade científica para endereçar obstáculos e formular a melhor aplicação possível do conhecimento e da tecnologia disponível.

O sistema de geração de energia fotovoltaica é composto pelos módulos fotovoltaicos (A), controladores de carga (B), baterias (C) e inversores (D) para compatibilizar a energia produzida com as características das instalações prediais e da rede de abastecimento.

- A. Os módulos fotovoltaicos são responsáveis por transformar a luz do sol em energia elétrica, na forma de corrente elétrica contínua. São compostos pela moldura de Alumínio, Vidro temperado fabricado especialmente para a função do módulo, películas EVA envelopando as células fotovoltaicas, fundo protetor e a caixa de junção.

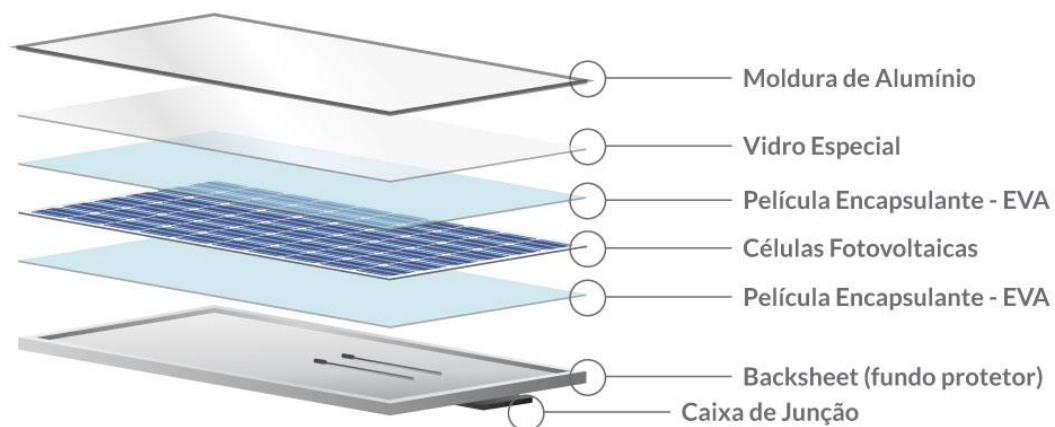


Figura 6 - Componentes das camadas dos módulos fotovoltaicos. Fonte: Blue Sol Blog (2016)

- B. Os controladores de carga, essenciais em sistemas isolados (*"off grid"*), tem a função de proteger as instalações (especialmente as baterias) contra cargas e descargas excessivas, visando o aumento da vida útil do sistema.
- C. Pode-se acoplar grupos de baterias (C) para permitir o armazenamento de energia nos momentos em que a produção de energia excede a demanda do circuito de

utilização, para posterior utilização, quando o consumo for superior à energia produzida pelo sistema fotovoltaico.

Para tanto, deve-se dimensionar e especificar as baterias de acordo com a autonomia que o sistema se propõe, e essa varia de acordo com o padrão de consumo energético da edificação e as condições climáticas da localidade onde o mesmo será implantado.

Devido ao ciclo diário de carregamento e descarregamento, as baterias disponíveis no mercado possuem pouca vida útil quando utilizadas em sistemas fotovoltaicos “*off grid*”. A constante carga e recarga, tornam a vida útil de sistemas de baterias curta e a análise econômica indica pouca atratividade econômica frente aos sistemas “*on grid*”, ou híbridos com uma rede de distribuição.

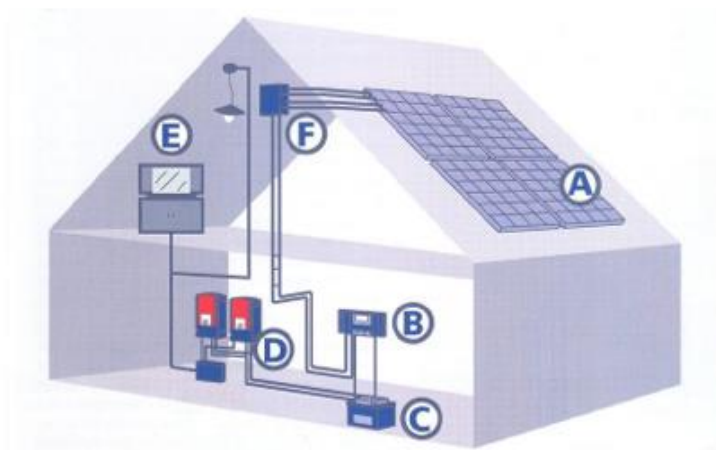
- D. Os inversores têm a função de gerar energia elétrica em corrente alternada a partir de uma fonte de energia em corrente contínua, compatibilizando a energia produzida às características adequadas para alimentação das instalações elétricas prediais e rede de abastecimento.

As Figuras 7 e 8, resumizam os elementos principais sobre o sistema. E destacam as diferenças de componentes em sistemas que podem melhor organizar a forma de operar o sistema.

1. (A) Painel fotovoltaico produz energia elétrica em Corrente Contínua (CC);
2. (D) Inversor solar fotovoltaico converte a energia elétrica para ser usada na casa;
3. (B) A energia pronta para ser usada é conectada e distribuída através do “quadro de luz”;
4. (E) Tudo o que estiver conectado na tomada irá utilizar a energia gerada pelo sistema fotovoltaico;
5. Se o gerador de energia solar fotovoltaica produzir mais energia que do que você está consumindo esta energia é jogada para rede elétrica e lhe dará “créditos de energia” para serem utilizados a noite ou em dias que não há muito sol.



Figura 7 - Componentes do Sistema (a), Fonte: Portal Solar (2019)



- A- Painel fotovoltaico;
- B- Controlador de carga;
- C- Banco de baterias;
- D- Inversores;
- E- Cargas c.a. (equipamentos elétricos);
- F- Caixa de conexão.

Figura 8 - Componentes do Sistema (b), Fonte: Manual de Engenharia – Blue Sol Educacional.

Caixas de Conexão, ou Junção, (F) são dispositivos usados para conectar os módulos fotovoltaicos em um painel, permitindo o acesso de forma mais simples e possibilitando o ligamento e desligamento dos grupos de módulos conectados, sem que seja necessário um contato direto com o inversor, Figura 9.

A caixa de junção é responsável pela proteção elétrica do módulo fotovoltaico e apresenta cabos especiais, que são específicos para interconexão dos módulos instalados em um telhado. Outros componentes essenciais da caixa de junção são os materiais poliméricos. A caixa de junção fica acoplada na parte posterior das placas.



Figura 9 - Caixa de Junção Fonte: Introdução a sistemas de energia solar fotovoltaica – Blue Sol Educacional

O primeiro tópico a ser analisado, está no que tange o primeiro componente do sistema, os módulos fotovoltaicos. As variáveis de maior interesse nesta análise são as que se seguem.

2.2.1 A IRRADIAÇÃO SOLAR DA REGIÃO ONDE SE INSTALARÁ O SISTEMA

No tocante a disponibilidade do principal recurso para este sistema, a luminosidade solar, é preciso compreender uma série de fatores. Por exemplo, o comportamento da disponibilidade da luz ao longo do dia, a variação ao longo do ano,

quando chove, quando há neblina etc. A relevância destes fatos, incide principalmente na descontinuidade de produção de energia, dessa forma, é importante compreendê-los.

Para esta tratativa a comunidade acadêmica e os desenvolvedores da tecnologia mensuraram os valores de irradiância e as variações climáticas cíclicas para criar um termo chamado HSP (Horas de Sol Pleno), ilustrado na Figura 10:

Número de horas com irradiância constante igual a 1 kW/m^2 equivalente a irradiação solar medida ao longo de um período determinado.

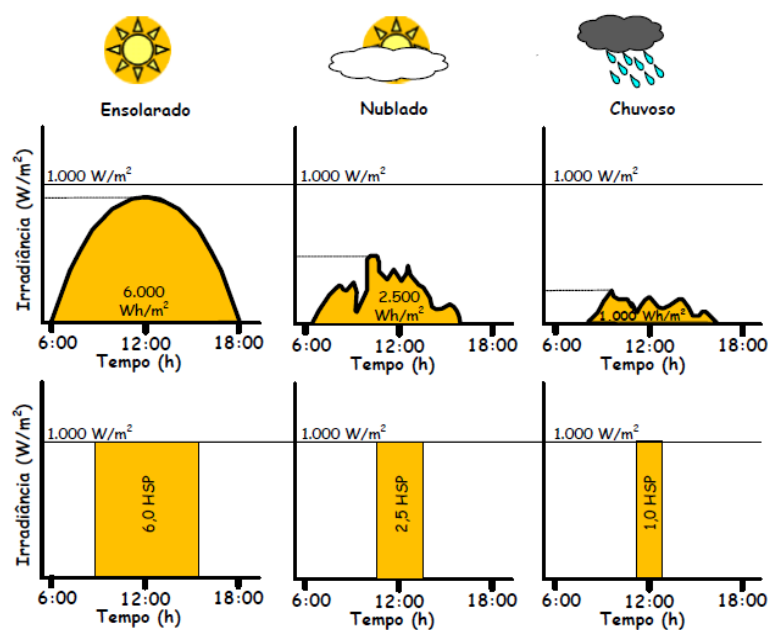


Figura 10 - Descrição ilustrativa do conceito de HSP, TAVARES, J. (2014)

Este entendimento orienta a decisão sobre a aceitação do local, pois tem efeitos de alto impacto. Um ambiente sem ventos, por exemplo, poderia incorrer em um eventual dia de sol, sombreado por uma nuvem estacionária. Uma região chuvosa, interromperia a produção diversas vezes ao longo da vida útil do sistema. Como uma alternativa de investimento, dado o alto valor inicial de aporte, é de crucial importância uma avaliação do clima regional. A unidade para orientar a decisão, é o HSP, que ilustra em uma única variável, estes fenômenos.

Outro ponto de atenção, se refere a variação anual da irradiação solar sobre a superfície. Esse fenômeno ocorre devido à geometria do sistema solar. É importante mencionar que as variações provocam picos e condições naturais que devem ser consideradas no dimensionamento e estudo de viabilidade.

O planeta orbita em torno do sol em vários movimentos rotacionais e translacionais, e dessa forma regiões de cada hemisfério tem épocas distintas de irradiação solar e consequentemente a quantidade de irradiação disponível. O que naturalmente já

indica, que as regiões mais próximas do equador, estão menos vulneráveis a este fenômeno e apresentam mais regularidade no ciclo noite dia.

Consideremos para efeitos ilustrativos, um sistema no Alasca (USA), e outro na Bahia (BRA). Mesmo que o sistema seja excelente no Alasca, é de se esperar 6 meses de sol e 6 meses de escuridão, em termos gerais como um grande dia e uma grande noite, já na Bahia, teríamos variações ao longo do ano da duração dos dias, mas uma realidade cíclica. É possível comparar em efeitos numéricos absolutos os sistemas, mas com peculiaridades muito relevantes. Um sistema híbrido no Alasca, dependeria inteiramente de a alternativa não solar durante metade do ano, e dessa forma a operação precisa ser planejada dessa forma.

O movimento de rotação da Terra provoca a variação da incidência de raios solares ao longo do dia, atingindo seu valor mínimo durante a noite. O movimento de translação da Terra provoca a variação da incidência dos raios solares ao longo do ano. A excentricidade da órbita e inclinação do eixo da terra influenciam a incidência de raios solares na Terra de acordo com as estações do ano, atingindo o máximo de radiação solar incidente no verão e o mínimo durante o inverno. Além disso, o movimento de precessão e variações na atividade solar provocam mudanças no padrão de radiação solar ao longo dos anos. (Reboita M.S, 2015)



Figura 11 - Órbita da Terra em torno do Sol, Fonte: Magnoli, D.; Scalzaretto. R. Geografia, espaço, cultura e cidadania. São Paulo. Moderna, 1998 v. 1 (adaptado)

O estudo referente a este fenômeno foi feito e registrado em atlas solarimétricos, justamente com o intuito de avaliar o potencial de aproveitar os recursos naturais do território, e naturalmente essa e outras tecnologias.

Os mapas solarimétricos da Figura 12, Atlas SWERA, representam o Brasil nos meses em que ocorrem os eventos terrestres de solstício e equinócio, no hemisfério sul. Essas referências representam episódios da variação anual do potencial solar no Brasil.

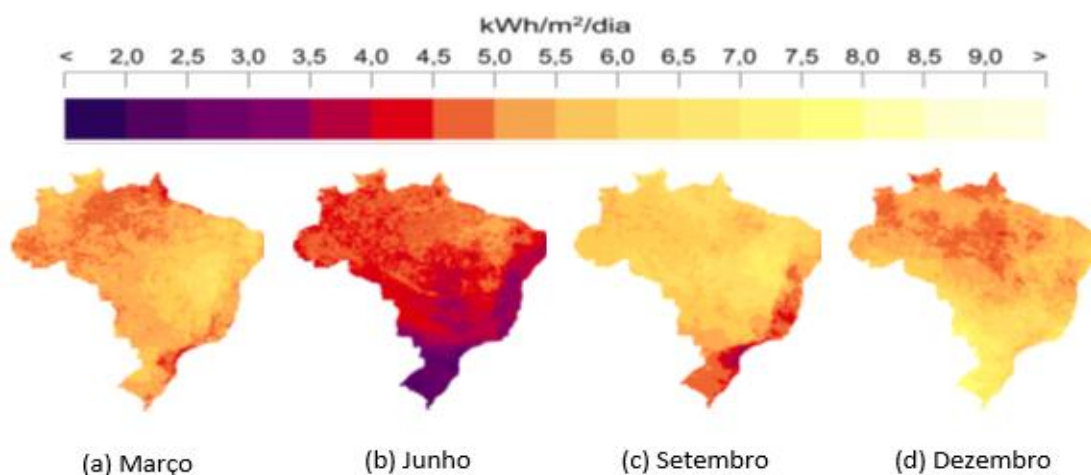


Figura 12 - Mapa Solar Anual Brasil Fonte: Atlas Solarimétrico, 2000.

Um importante aspecto sobre esta mensuração é o ângulo de incidência dos raios solares nos coletores medidores, para estes dados foram obtidos para um plano inclinado constante de 20°. A relevância e obtenção do ângulo de inclinação dos painéis será esclarecido nos tópicos seguintes.

Para a região de Brasília, é de se esperar excelentes condições de irradiação, e para verificarmos numericamente estes valores foram consultados os bancos de dados SUNDATA e NASA, afim de conhecer o potencial e real informação para projetar os sistemas.

No gráfico da Figura 13, apresenta-se os valores de irradiação médios mensais no plano inclinado. Enquanto os dados apresentados pelo SunData representam os maiores valores de irradiação solar mantendo uma inclinação constante de 20 graus ao longo do ano (O ideal em Brasília seria de 16°), os dados de irradiação solar da NASA consideram a melhor inclinação para cada mês (Inclinação cujos raios solares incidam a maior parte do tempo próximo à 90°, por meio de uma curva de probabilidade).

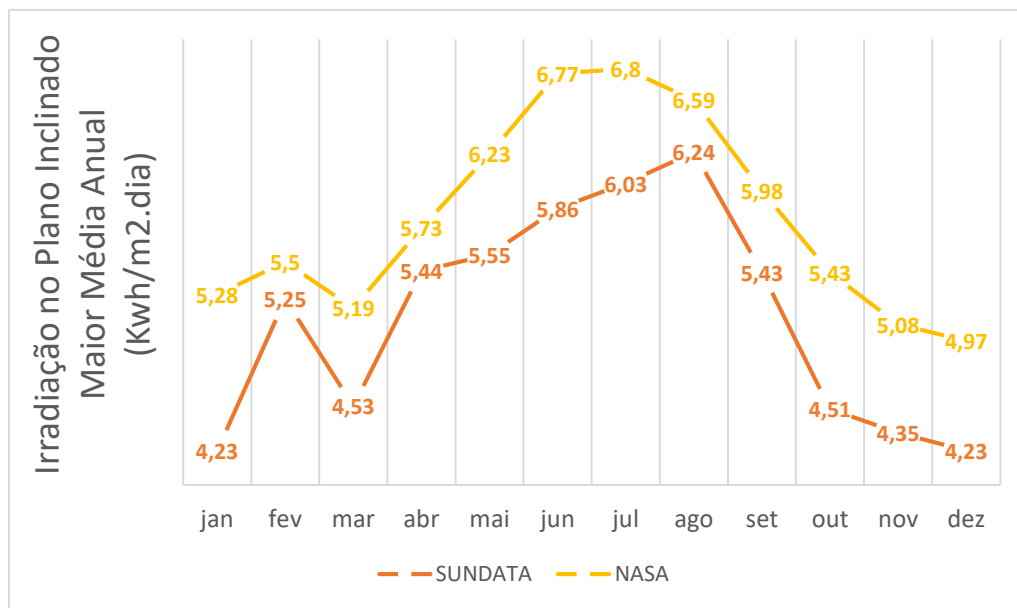


Figura 13 - Irradiação comparada para inclinações ótimas (1 eixo rastreado mensalmente) contra inclinações estáticas (20°).

Na Figura 14, fica demonstrado nas colunas, o total em kWh/m².dia da diferença entre as duas leituras, que se diferenciam pela inclinação em relação à horizontal na mesma localidade. Ou seja, para o mesmo local, um sistema que se ajuste mensalmente um dos seus eixos para otimizar a captação de raios solares acumula no ano inteiro 7.90 kWh/m².dia (11.36% adicional por ano), aproximadamente um mês e meio médio a mais, 53,8% maior que 5,14 kWh/m².dia, a média mensal com horizonte de um ano.

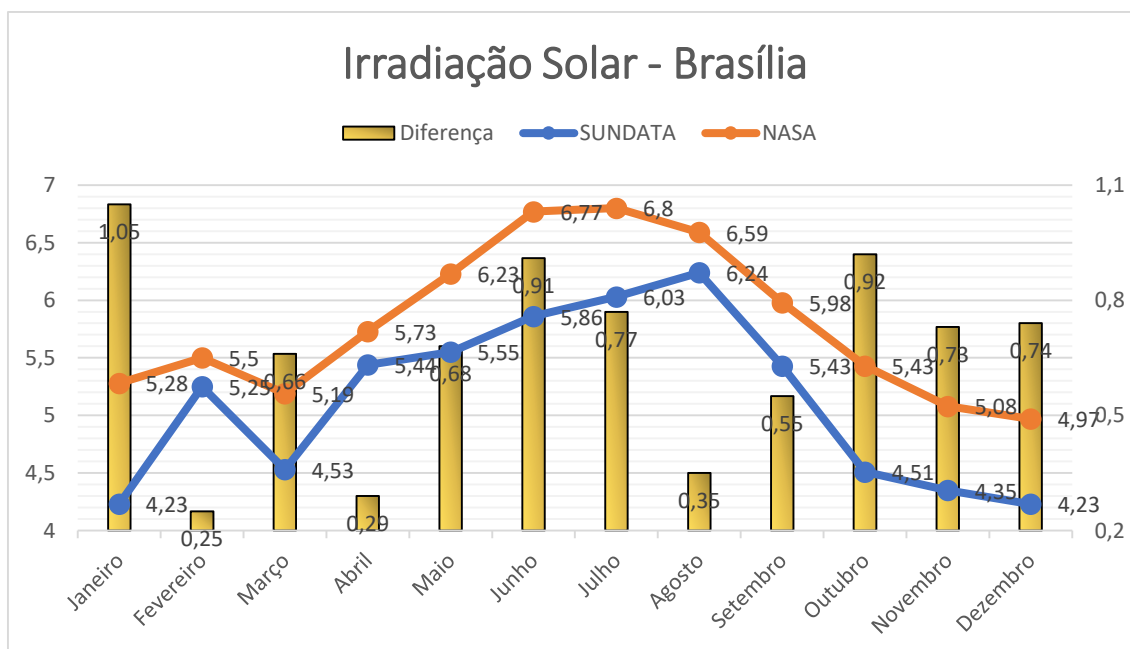


Figura 14 - Impacto de rastreamento solar em um eixo, análise comparativa.

Os valores de irradiância solar referentes a cidade de Brasília, na Universidade, são apresentados nas Figuras 15 e 16, onde pode-se observar a variação das médias mensais ao longo do ano na região:

Para explorar o potencial de qualquer região, o banco de dados SunData e a plataforma Mapas Geográfica do Google, fornecem as informações precisas de operação para o sistema. Nessas simulações, como demonstradas nas Figuras 15 e 16, são coletados dados em estações diferentes, para que seja possível triangular regiões inteiras.

O motivador destas imagens é o aspecto chamado triangulação, na qual um ponto no mapa pode apresentar diversas características se em 3 outros pontos forem possível coletar informações semelhantes que sugerem a proximidade de toda a região a que pertence o triângulo dos coletores.



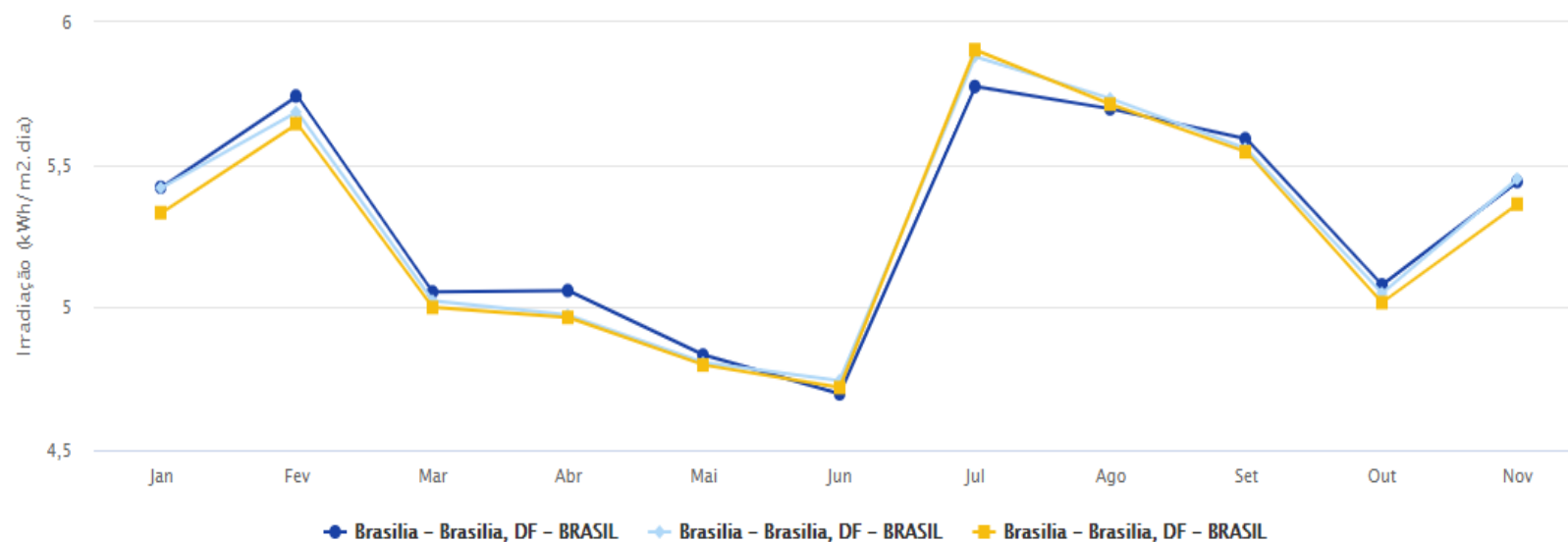
Figura 15 - Obtenção das Coordenadas do Local Fonte: Google Plataform

Latitude: 15,772389° S
Longitude: 47,857111° O

#	Estação	Município	UF	País	Irradiação solar diária média [kWh/m².dia]																
					Latitude [°]	Longitude [°]	Distância [km]	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média	Delta
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,801° S	47,849° O	3,3	5,42	5,74	5,05	5,06	4,83	4,70	4,95	5,77	5,70	5,59	5,08	5,44	5,28	1,08
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,701° S	47,849° O	8,0	5,42	5,69	5,02	4,97	4,81	4,74	5,04	5,88	5,73	5,56	5,05	5,45	5,28	1,14
✓	Brasília	Brasília	DF	BRASIL	15,801° S	47,949° O	10,3	5,33	5,64	5,00	4,97	4,80	4,72	5,02	5,90	5,71	5,55	5,02	5,36	5,25	1,18

Irradiação Solar no Plano Horizontal para Localidades próximas

15,772389° S; 47,857111° O



Highcharts.com

Figura 16 - Universidade de Brasília, Brasília DF. Dados solarimétricos, Fonte: SunData

Para efeito comparativo, das fontes mais confiáveis consultadas, o dado obtido mais próximo da realidade é de 5,2 Kwh/m².dia, nos dados anuais em plano inclinado de 20°. Esse dado, sumariza os diversos fenômenos supracitados, e é o principal norteador para o cálculo da geração de energia que os módulos poderão converter em energia elétrica no sistema projetado.

De forma geral, as regiões mais próximas do Equador apresentam melhores potenciais anuais, e, quando comparamos o potencial do Brasil com outros países, é notável imensa vantagem competitiva, configurando o país, devido a sua posição no hemisfério, características climáticas e vastidão territorial, dentro do ranking dos 10 países com maior potencial solar no mundo.

2.2.2 FONTES DE SOMBREAMENTO NA ÁREA ÚTIL DE OCUPAÇÃO DOS MÓDULOS;

Ao avaliar o posicionamento dos módulos fotovoltaicos, além do local, é preciso orientar a posição no espaço disponível pelos tópicos subsequentes:

Espaço de circulação para manutenção, corredores de 80 cm, entre arranjos (fileiras) de módulos fotovoltaicos para sistemas projetados sobre superfícies horizontais.

Por motivos operacionais, é recomendado um corredor de acesso de 80 cm entre arranjos de módulos fotovoltaicos, para eventuais manutenções e limpeza. Além disso, é uma precaução importante não pisar nos módulos ou submete-los a muita pressão mecânica. Mesmo em países frios, onde há incidência de neve, é preferível que os módulos jamais sustentem muito peso na superfície captadora de luz.

Modelos inteligentes de estruturas permitem o deslocamento dos módulos em trilhos, em conjuntos de até 4 módulos, isso para permitir inserir módulos extras quando os corredores não estão sendo usados. Quando há necessidade de acesso, são deslocados estrategicamente.

Espaço mínimo entre módulos devido ao sombreamento ao longo do dia.

Devido a geometria solar, é preciso se atentar que ao posicionar um objeto estacionário, ao longo do dia e das estações do ano, as sombras consequentes dos raios solares no objeto não serão cíclicas em base diária, mas anual. Dessa forma, ao se projetar os sistemas, é necessário compreender aspectos básicos do comportamento da terra e do sol.

A Terra descreve em torno do Sol uma trajetória elíptica em que seu eixo apresenta inclinação de 23,45° em relação ao plano normal da trajetória desenvolvida pela Terra. O efeito dessa inclinação, somado ao movimento de translação, origina as estações do ano.

Devem-se considerar os ângulos na Figura 17 para análises solarimétricas:

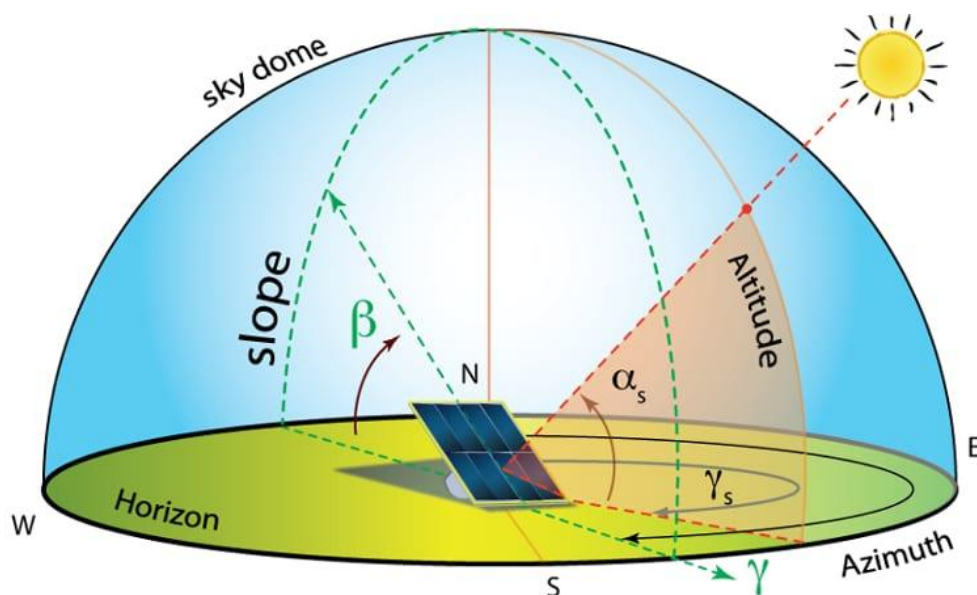


Figura 17 - Ângulos para análises solarimétricas. Fonte: Universidade de Lisboa

- ✓ Ângulo zenital (θ_z): formado entre os raios do Sol e a vertical local (Zênite).
- ✓ Altura ou Elevação solar (γ): compreendido entre os raios do Sol e a projeção dos mesmos sobre o plano horizontal.
- ✓ Ângulo azimutal do Sol (α_s): também chamado azimuth solar, é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e a direção Norte-Sul, onde o deslocamento angular é tomado a partir do norte geográfico.
- ✓ Ângulo azimutal da superfície (γ_s): entre a projeção reta normal à superfície no plano horizontal e a direção Norte-Sul. Obedece às mesmas convenções do azimuth solar.
- ✓ Inclinação da superfície de captação (β): ângulo entre o plano da superfície em questão e o plano horizontal, que pode variar de 0° a 90° .
- ✓ Ângulo de incidência (θ_s): formado entre os raios de Sol e a reta normal à superfície de captação.

Dessa geometria, ao longo do ano, se percebe, que o valor crítico para o problema em questão é aquele que maximiza o alcance da sombra de um objeto parado, ou seja, no solstício, quando o ângulo de incidência é aquele que tem maior alcance de sombreamento.

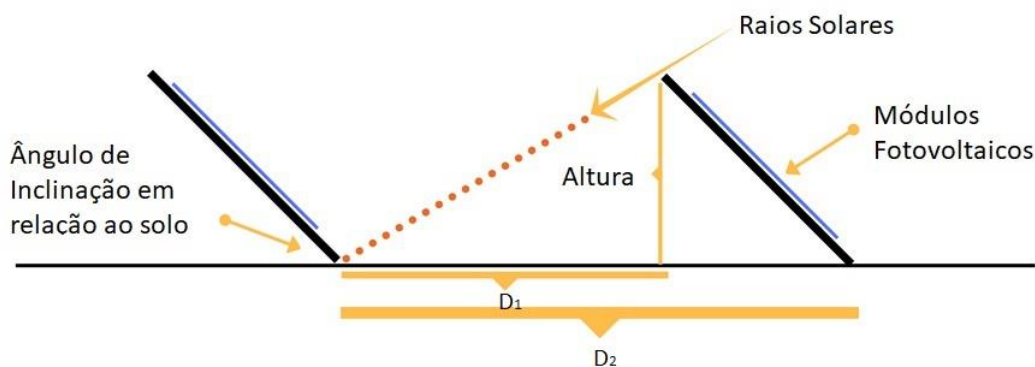


Figura 18 - Cálculo do alcance de sombras entre fileiras de módulos - Acervo Pessoal

$$D_2 = h (\cos \beta + \sin \beta \times \cotan \alpha)$$

Equação 1 – Distância ótima entre base de módulos

$$D_1 = D_2 - h \times \cos \beta$$

Equação 2 – Distância entre módulos

h = Altura dos módulos; α = Complemento de β

Para calcular a distância mínima entre 2 fileiras de módulos fotovoltaicos, instalados em horizontal ou em vertical num espaço horizontal, basta saber a inclinação dos raios solares no solstício de inverno (dia 21/12 às 12h00) no local da instalação para o hemisfério norte, pois é o sombreamento máximo do ano. Vale ressaltar que para o cálculo dessa distância, no hemisfério sul, utiliza-se o ângulo incidente solar no solstício de verão.

A Figura 19, deixa ilustrado o problema relacionado a este posicionamento e que pode gerar impactos significativos para o investimento no sistema, que praticamente inviabiliza a transformação de energia de uma área durante intervalos de tempo com irradiação disponível. Um sistema mal projetado, neste aspecto pode ser 10 à 20% menos eficiente, congeladas todas as outras variáveis.



Figura 19 - Sombreamento entre módulos fotovoltaicos.

Posicionamento do sistema e dos obstáculos ao redor, simulando em programas computacionais o comportamento das sombras durante todo o ano.

Da mesma forma que se calcula as distâncias entre arranjos horizontais, é calculado o alcance da sombra de obstáculos. Esta variável, é de grande relevância, pois impacta de forma significativa ao longo da vida útil do sistema, por inutilizar uma área útil durante um período com irradiação solar disponível.

Em programas simples de concepção arquitetônica é possível simular o local, na data do solstício para medir as distâncias e alcances de sombreamentos e projetar o sistema consciente da indisponibilidade dessas áreas. As Figuras 20, 21, 22 e 23 deixam representados exemplos da relevância dos conceitos. Na Figura 20, há uma cobertura (branca) que causa sombreamento de 5,54 m na região do prédio norte, e invalida a região para colocar módulos. Já abaixo, na esquerda, uma área no prédio norte de 10,7 x 17,0 m é sombreada pela tubulação de ar condicionado que conecta os dois prédios.

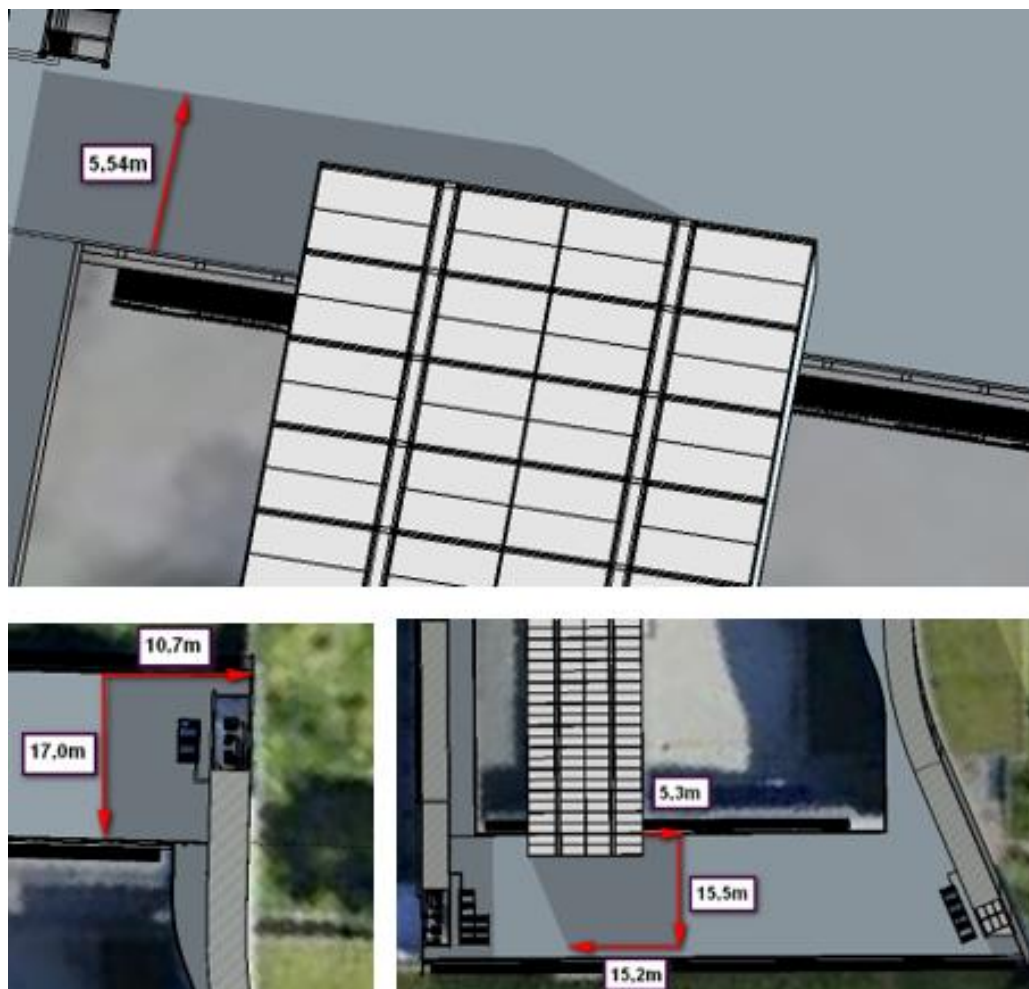


Figura 20 - SEBRAE Nacional, Asa Sul – Acervo Pessoal

Há área sombreada no Sul de 15,2 x 15,5 nos primeiro 5,3m ao lado da cobertura.

Os sombreamentos podem ser de várias origens, sendo necessário também, prever possíveis obstáculos que ao longo da vida útil do sistema possam vir a se concretizar. Alguns exemplos são árvores baixas que se tornem altas, construções adjacentes, reparos e mudanças na arquitetura. Vale ressaltar, que módulos colocados na inclinação de telhados, consideram essa inclinação para se projetar os itens de suporte, ajustando para o ângulo ideal de projeto.



Figura 21 - Sombreamento em sistema fotovoltaico, por obstáculo arquitetônico. Fonte: Portal Solar, 2019



Figura 22 - Sombreamento em sistema fotovoltaico, por obstáculo natural. Simulado em programa de computador Fonte: Acervo Pessoal, Sketchup 2017

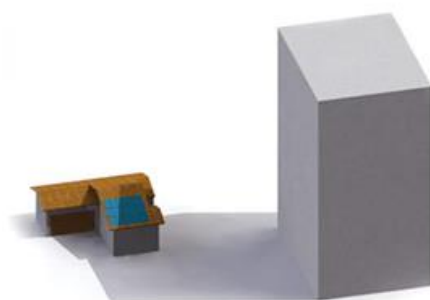


Figura 23 - Sombreamento em sistema fotovoltaico, por obstáculo urbano.

Diagramação dos módulos

É possível posicionar os módulos voltados para uma, duas ou múltiplas direções. A Figura 24 deixa explicitadas as diferenças entre o tempo de operação e a potência gerada em sistemas de fixação unidirecionais e sistemas de orientação dupla:

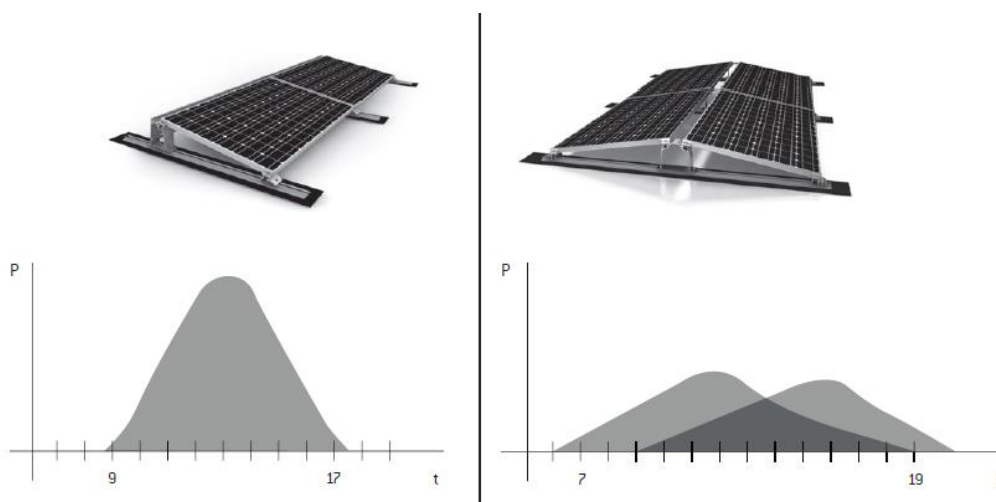


Figura 24 - Arranjo simples ou duplo para módulos fotovoltaicos

Esta decisão, é importante, ao projetar o sistema para verificar se, ao se posicionar os módulos, se opte por módulos na horizontal, na vertical, em fileiras duplas ou unidirecionais. A escolha mais eficiente é aquela cuja integral do gráfico, resulte no maior valor absoluto. Ainda que seja mais produtivo nas horas de maior incidência apenas um

módulo unidirecional, talvez um arranjo duplo capte mais luz e gere mais energia, pois opera desde os raios solares do início da manhã até os últimos da tarde.

Outro ponto de interesse, é a recomendação dos fabricantes que a inclinação dos módulos seja de pelo menos 10°, para assim, a força gravitacional “limpar” os módulos de impurezas que se depositem neles, escorrendo para o solo. Nos países com neve, essa recomendação é de 15°.

Nesse tópico, também se torna relevante, especialmente no Brasil, e nos países com instabilidade na matriz energética, com diferentes valores de tarifa a depender de bandeiras tarifárias e das concessionárias, a escolha de módulos que produzam energia em momentos que se pode vendê-la para as concessionárias em um sistema *on grid* nos momentos que o ativo, a energia gerada, é mais caro, e o compre quando ele é mais barato.

É possível projetar sistemas inteligentes, que exploram esse fundamento. Um exemplo prático, são edifícios públicos que usam muita energia nos meses de maior temperatura com ar condicionados, e com um sistema disponível, se consome apenas a energia gerada, evitando comprar energia nos horários críticos de maior consumo. Em um caso analisado, a economia pode ser expressiva em um ano, quando todos os dias da semana, o local não consuma energia nos horários de pico.

O gráfico da Figura 25 apresenta o resumo dos preços em horários de ponta (mais caro), e nos horários fora de ponta (normal), para uma instituição pública de grande consumo. Se orientado a consumir apenas a energia gerada, nos horários de pico, é possível reduzir em 80% o custo com energia nesses horários. No ano, isso representa aumento de margens relevantes.

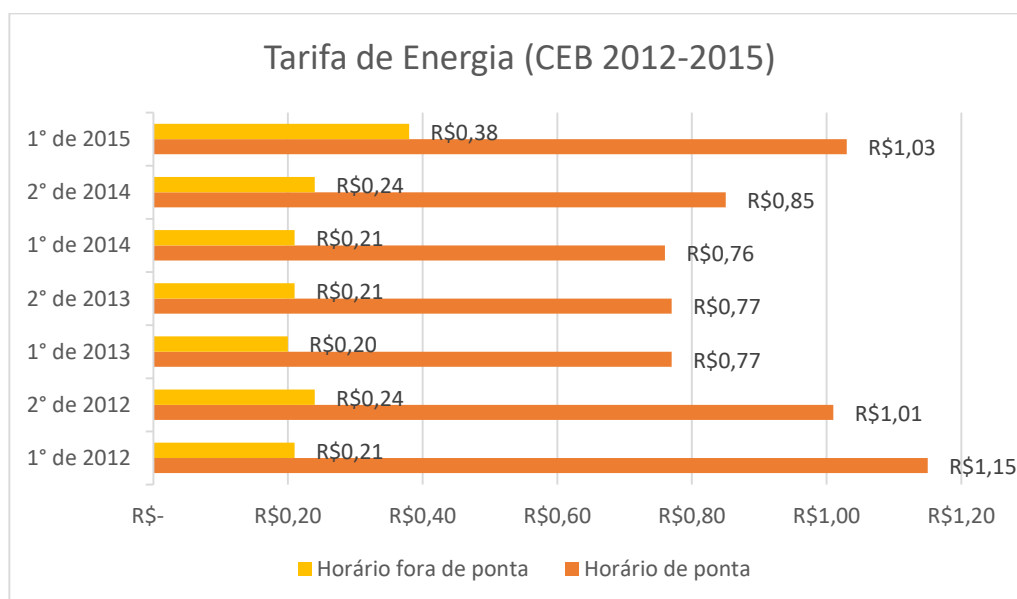


Figura 25 - Padrões de Consumo

Em sistemas monitorados, ou com manuais de operação com alto grau de especificidade, nos horários de ponta (tarifa mais cara), os operadores orientam os painéis de 17h às 19h, a depender do local e época do ano, para a configuração de máxima eficiência, assim economizando o recurso quando ele é mais caro. Um exemplo numérico, 1 HSP em horário de ponta, na dinâmica de preços apresentada, equivale em valor à quase 5 HSP. Seria, congelando algumas variáveis e com algumas ressalvas, dizer que o sistema gerou 11 HSP em valor e apenas 6 HSP em energia.

Associação de Módulos Fotovoltaicos

A quantidade de energia produzida por módulos fotovoltaicos depende da forma na qual esses componentes são associados. Os módulos fotovoltaicos podem ser conectados em ligações *em série* e *em paralelo*, Figura 26, dependendo da corrente e tensão desejadas, de acordo com as condições físicas de instalação e possíveis interferências que provoquem sombreamento.

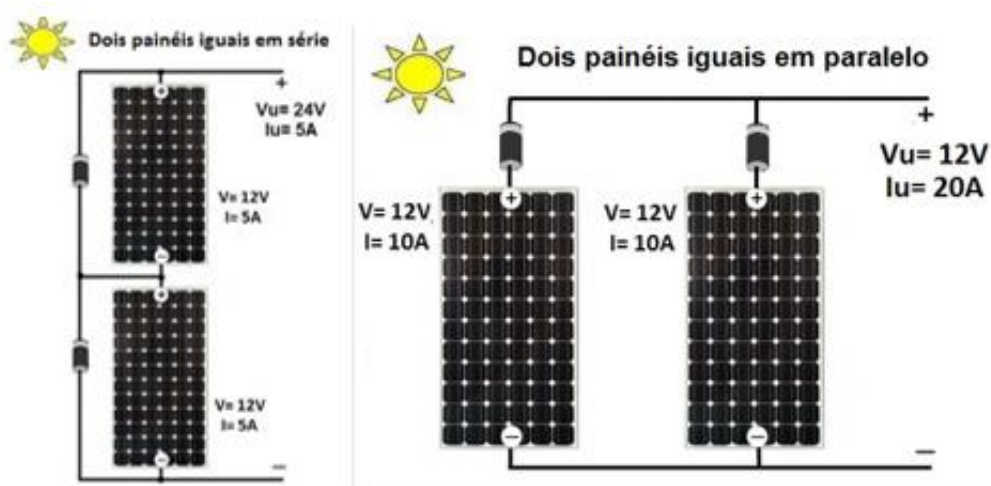


Figura 26 - Sistema em série e em paralelo, respectivamente. Fonte: MPPT Solar

A conexão em série é realizada do terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro módulo, e assim por diante. Quando há esse tipo de ligação as tensões se somam e a corrente (para módulos iguais) não é afetada.

Já a conexão em paralelo é feita acoplando os terminais positivos de todos os módulos entre si, da mesma maneira com os negativos. Essa conexão é caracterizada por somar as correntes, sem alteração da tensão.

O efeito de sombreamento do módulo ocorre em células associadas em série quando há depósito de sujeira sobre o vidro, quando há edifícios ou árvores altas próximos aos módulos, ou quando qualquer objeto limite a incidência de raios solares em uma ou mais células fotovoltaicas do conjunto. (Tavares J.; 2014).

Sob efeito de sombreamento, uma das células da mesma associação recebe menos radiação solar do que as outras. Como consequência, a corrente no conjunto de células do módulo é reduzida. O efeito se propaga para todos os módulos conectados em série. A Figura 27 deixa representado o funcionamento do dispositivo que protege a tecnologia.

- i. Ilustração “a” Em um módulo livre de sombras, a corrente percorre todas as suas células
- ii. Ilustração “b” As duas primeiras fileiras de células estão sombreadas e o primeiro diodo bypass desvia a corrente para a terceira fileira.
- iii. Ilustração “c” Quatro fileiras estão submetidas a sombra e dois diodos desviam a corrente para as duas últimas fileiras que estão livres de sombra.
- iv. Ilustração “d” Todo o módulo está sob a sombra e os três diodos fazem com que a corrente não circule por este módulo.

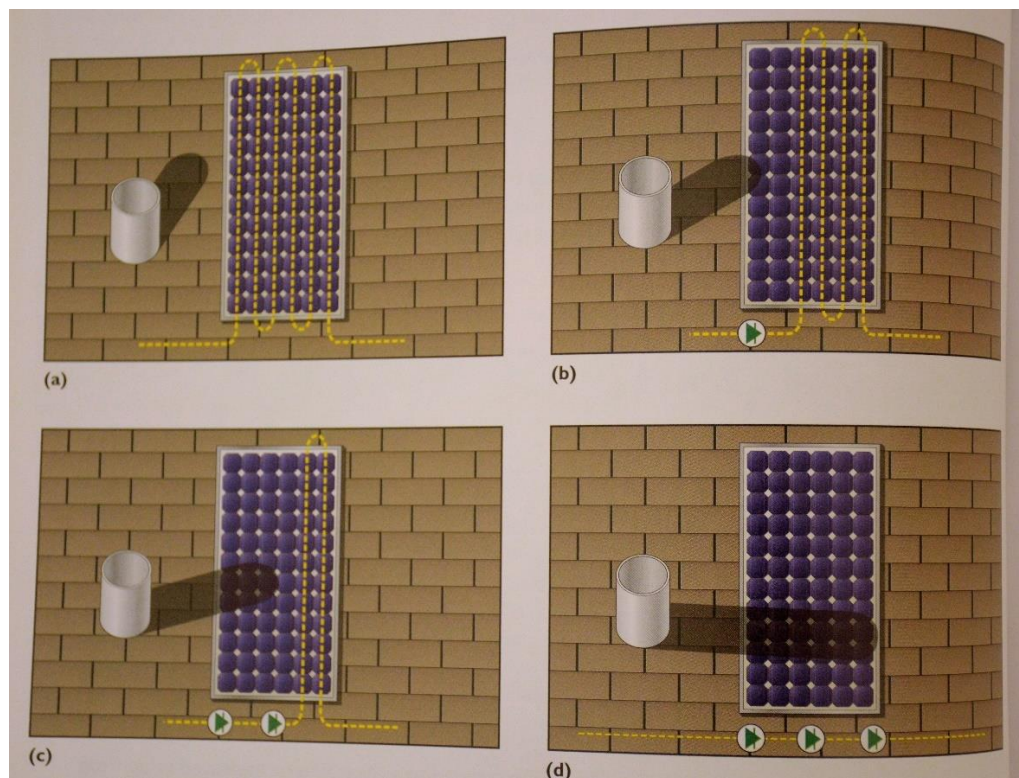


Figura 27 - Associação de módulos em série sob efeito de sombreamento Fonte: Renewable Energy e Efficient Electric Power Systems, Gil M. Masters da Universidade de Stanford

Além de perder a potência no gerador fotovoltaico, há risco de aquecimento da célula uma vez que a potência elétrica gerada que não está sendo entregue ao consumo é dissipada no próprio módulo, podendo causar ruptura do vidro e fusão de polímeros e metais. Quando um módulo é submetido a um sombreamento na geração de energia solar, ainda que parcialmente, a parte sombreada age como se fosse um resistor fazendo com que a potência seja dissipada na forma de calor, criando “hot spots” (pontos quentes), possíveis causadores de graves danos às células ou ao módulo inteiro (Tavares J.; 2014).

Para garantir a eficiência energética das instalações no caso de sombreamento, são usados diodos de desvio (by-pass) e diodos de bloqueio.

A maioria dos módulos fotovoltaicos já possui um ou mais diodos de desvio instalados com a função de limitar a dissipação de potência nas células sombreadas. Os módulos de silício mono e policristalinos sempre vem com 3 diodos de passagem previamente instalados (MASTERS, GILBERT M; 2004), via de regra 1 diodo para cada 18 ou 24 células fotovoltaicas. Esses dispositivos funcionam oferecendo um caminho alternativo para passagem de corrente elétrica quando há efeito de sombreamento.

O gráfico da Figura 28, deixa apresentado o comportamento da corrente gerada quando ocorre sombreamento de pelo menos um módulo numa associação de um grupo de 4. O ponto central a ser destacado é o impacto massivo de um dispositivo sem os diodos, quando ocorre o sombreamento de apenas uma célula. Dessa forma, é imprescindível compreender este aspecto técnico, tanto para avaliar o desempenho do sistema, quando há falhas nos diodos de passagem, quanto para avaliar o impacto de um obstáculo que gere sombra. Um módulo que durante 10% do tempo seja sombreado, pode perder até 100% de seu efeito, se sombrear pontos críticos da associação em série.

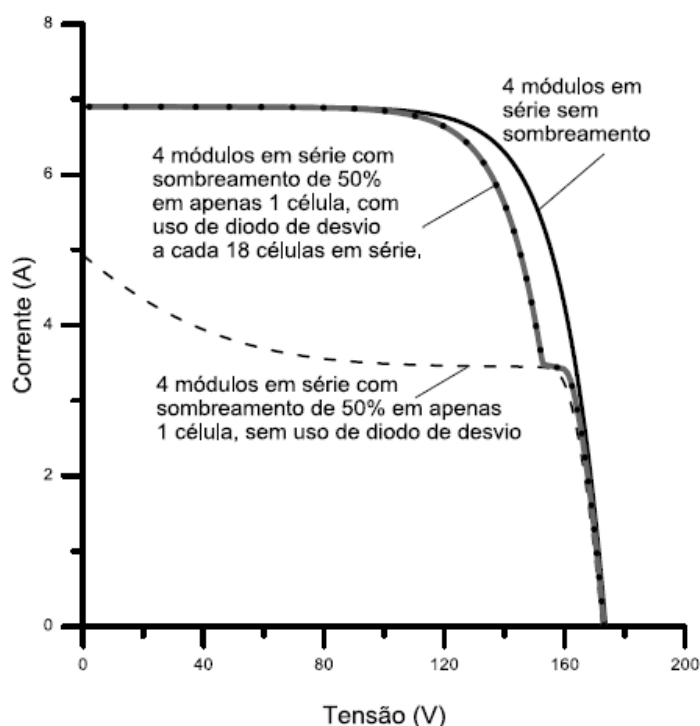


Figura 28 - Influência da utilização de diodos de desvio (by-pass)
Fonte: Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos, p. 159

Os diodos de bloqueio são instalados para impedir o fluxo de corrente de um conjunto de módulos em série com tensão maior para um similar com tensão menor. Esses

diodos podem ser substituídos por fusíveis de corrente contínua do tipo *gPV* (apropriado para sistemas fotovoltaicos) que apresentam maior durabilidade.

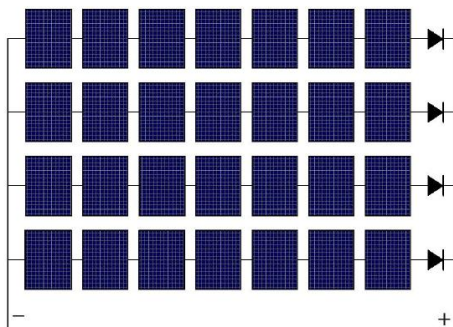


Figura 29 - Diagrama de utilização de diodos de bloqueio
Fonte: Manual de Engenharia de Sistemas Fotovoltaicos, p. 162

2.2.3 SISTEMAS *ON GRID* E *OFF GRID*

É possível conectar o sistema de geração fotovoltaica à rede pública de abastecimento, dispensando a necessidade de baterias e consequentemente, reduzindo os custos de implantação e manutenção. Os sistemas de geração conectados à rede são denominados “*on-grid*”. Figura 30



Figura 30 - Sistema On Grid Fonte: Strom Brasil, 2019.

O Decreto nº 482 da Aneel define o sistema de compensação energética, habilitando o consumidor de energia elétrica a produzir a própria energia e pagar apenas uma taxa mínima referente a acessibilidade a rede de distribuição, com possível compensação da energia produzida em excesso por até 36 meses.

Basicamente, concede-se energia para a Concessionária quando há excedentes na produção de energia no local e, posteriormente, a Concessionária devolve essa energia na forma de créditos que são descontados do valor cobrado pelo abastecimento de energia elétrica.

A conexão dos inversores à rede pode ser feita de dois modos: pelo ponto de conexão da edificação com a concessionária ou direto à rede. A primeira opção permite a utilização da energia produzida pelo próprio prédio e apenas o que exceder ao consumo é direcionado para a rede. A segunda opção é utilizada quando se pretende que a energia produzida seja diretamente alocada para a rede de distribuição e fornecida a consumidores das proximidades de forma rápida.

O sistema geração de energia “*off-grid*” é um sistema onde não há conexão com a rede de distribuição de eletricidade, podendo ser com ou sem baterias para armazenamento de energia. Este sistema é comum em locais remotos, com usos em sistemas de irrigação, postes de luz, bombeamento de água para agricultura, entre outros. Figura 31.



Figura 31 - Sistema Off Grid Fonte: Strom Brasil, 2019.

Sistemas “*off-grid*” que não possuem baterias ficam impossibilitados de garantir o abastecimento de energia nos horários em que não houver radiação solar suficiente incidente no módulo fotovoltaico.

Os inversores apresentam características distintas para operação “*on grid*” e “*off grid*”, devendo ser especificados dispositivos adequados para cada caso, devendo fornecer energia em tensão e frequência adequados às características das instalações elétricas prediais e da rede de distribuição, no caso de sistemas “*on grid*”.

2.2.4 INCLINAÇÃO DOS MÓDULOS E A LATITUDE DO SISTEMA

Para a otimização do sistema, é necessário compreender a forma de posicionar os módulos para que, durante a maior parte do tempo os raios solares incidam com um

ângulo perpendicular, ou próximo, na superfície das células. Dessa forma, a maneira perfeita de endereçar esta necessidade, é um sistema de rastreamento solar, do ponto de vista técnico. A ONU, em 2016, resumiu as principais tecnologias, afim de aprofundar e disseminar o conhecimento sobre o tópico. Figura 32



Figura 32 - Rastreadores Solares Fonte: ONU 2016.

É importante perceber, que embora algumas alternativas não sejam cientificamente precisas, uma mudança gradual e imprecisa da inclinação e direção dos painéis pode gerar impactos da ordem de 10 a 25% da eficiência do sistema em traduzir a irradiação solar em energia elétrica. Quando as alternativas tecnológicas de rastreamento solar se tornarem mais acessíveis, é um dos principais modificadores da ordem de eficiência que um sistema pode alcançar. Atualmente, é devido aos custos de manutenção e operação, que a maioria dos rastreadores não são aprovados em projetos civis.

Com rastreadores, é possível elevar a incidência de radiação dos painéis e, conseqüentemente, a geração de energia. Há sistemas que permitem o aumento da produção energética em até 40% quando comparado aos módulos fixos, com rastreamento do movimento do sol em um, dois ou três eixos de rotação. Apresenta-se na Figura 33 um

exemplo de sistema fotovoltaico com rastreamento solar implantado na cidade de Itu, São Paulo.

Normalmente os sistemas rastreadores são fixados no solo para não transferir esforços excessivos às estruturas de edificações. Os fatores comparativos desse sistema de fixação ao sistema estático são principalmente:

- i. Maiores espaçamentos frontais e laterais devido ao sombreamento provocado por múltiplos painéis móveis,
- ii. Eventual necessidade de reforço estrutural para implantação em coberturas,
- iii. Maior capacidade de produção de energia,
- iv. Maiores custos de aquisição e manutenção.

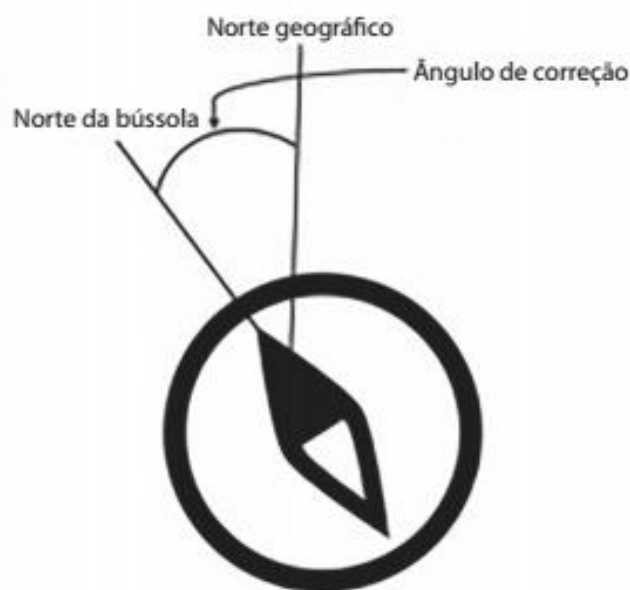
Sistema implantado	24 painéis (MITSUBISHI 255W)
Localização	Residência (Itu, SP)
Fornecedor	Energia Pura
Características	<p>Sistema On-Grid</p> <p>Potência: 6,1 kW</p> <p>12 painéis no telhado da casa e outros 12 no Solar Tracker Lorentz Etatrack 1500 no quintal</p>
Fotografia	

Figura 33 - Rastreador Solar, SP

O suporte com o sistema de rastreamento solar tem valor de aquisição na faixa de R\$ 14.000,00 a R\$ 17.000,00 para um sistema modular independente com 15 m² e cerca de 3kW de potência (em 2015). O custo de importação e manutenção dos rastreadores é significativo para implantação de sistemas fotovoltaicos, não compensando os custos de implantação quando comparados aos modelos de fixação estáticos em condições usuais,

especialmente em sistemas “on grid”, onde existe a disponibilidade de energia da rede de abastecimento no caso de irradiação solar insuficiente para atender à demanda de energia elétrica. O custo de manutenção se torna alto, pelo esforço mecânico necessário, e pior aproveitamento de áreas livres. Além disso, em campos abertos, o valor do terreno também é significativo, dessa forma, é apenas em casos de altíssima complexidade tecnológica que esta alternativa se torna competitiva, como em satélites em órbita, instalações laboratoriais e estudos científicos.

A alternativa estática, tem várias variações: Sob telhados inclinados, lajes horizontais, módulos unidirecionais e módulos bidirecionais. A variável de interesse, quando se opta por sistemas estáticos é que estes módulos estejam direcionados para o norte geográfico sempre que possível, pois assim, capta irradiação solar da manhã e da tarde. Existem ainda, alternativa híbridas, na qual o manual de operação do sistema especifica datas e novas configurações do sistema, para serem ajustadas e elevar a produção para aquele período específico do ano. Nesta última alternativa, para análise do investimento, é necessário computar o valor monetário pago ao operador da tecnologia e o eventual grau de instrução deste.



**Figura 34 - Norte Magnético,
aproximadamente 23°O em SP (BRA)**

Além disso, a inclinação dos módulos em relação ao solo deve ser tal que os raios incidentes ocupem a maior área e sejam o mais direto possível (perpendicular à superfície do painel). Pela geometria solar, esse ângulo se aproxima da latitude da região onde o sistema está instalado.

O quadro da Figura 35, deixa sintetizado, para o Brasil, a inclinação ideal para os painéis em relação a horizontal para diferentes estados.

Tabela 1 - Inclinações Ideais nos estados brasileiros. Fonte: Portal Solar, 2019.

Estado	Cidade	Inclinação ideal dos painéis
MG	Belo Horizonte	20°
DF	Brasília	16°
MS	Campo Grande	21°
MT	Cuiabá	16°
PR	Curitiba	25°
SC	Florianópolis	28°
GO	Goiânia	17°
RS	Porto Alegre	30°
RJ	Rio de Janeiro	23°
SP	São Paulo	24°
ES	Vitória	20°

Obs: Inclinação Ideal \approx Latitude local para máxima produção anual, de forma geral. É importante ressaltar, que há problemas ao se projetar inclinações mais baixas que 15°, e que cada projeto deve ser estudado profundamente para se estabelecer essa inclinação.

Finalmente, a Figura 35, deixa sumarizado quantitativamente o valor máximo possível de irradiância solar a ser captado. O valor bruto chega a representar aumento máximo de 45%, mas é preciso considerar que é o valor líquido que é relevante para a decisão, pois o custo consistente e aumento da complexidade do projeto no longo prazo com manutenção, e risco de ruína associado, podem comprometer o aumento prometido de eficácia.

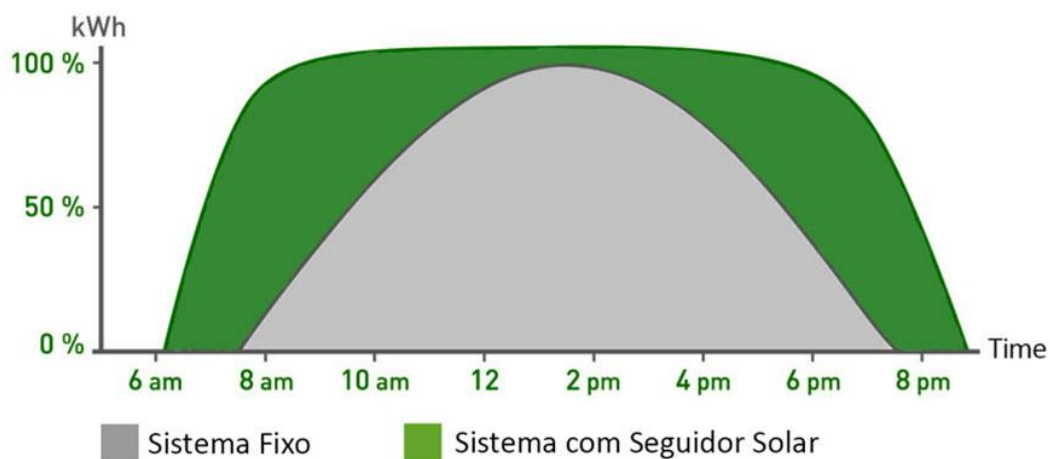


Figura 35 - Rastreamento Solar contra posicionamento estático

2.2.5 ARRANJO DOS MÓDULOS NA ÁREA DISPONÍVEL

Ao projetar o sistema, ainda que seja cientificamente preferível orientar os painéis solares para o norte magnético, é preciso verificar se colocar mais painéis de uma

forma menos eficiente aproveitará melhor a área disponível para o sistema. É comum que os sistemas estejam sempre perfeitamente paralelos aos limites dos locais onde estão instalados, pois, dessa forma, se maximiza o número de módulos e por consequência o percentual da área disponível que está convertendo luz em energia, em detrimento da alternativa em que a eficiência da área de módulos instalados seja mais alta, mas o valor absoluto menor. Economicamente, esta decisão é melhor, pois costumeiramente o valor do terreno é mais caro que a tecnologia fotovoltaica.

Um exemplo prático, de uma situação real, está diagramado na Figura 36. Vale pontuar, que a concepção abaixo exemplifica tanto a disposição dos módulos de maneira paralela aos limites arquitetônicos, a qual é ineficiente do ponto de vista científico que orienta o norte geográfico como ideal, mas que possibilitou cerca de 77 módulos adicionais no local, como também a não utilização de espaços sombreados. (PV SYST, simulação computacional – Acervo Pessoal)

É demasiadamente complexo calcular precisamente a eficiência dos módulos sombreados, e comparar este grupo ao custo de oportunidade do capital investido, mas nas análises globais e rápidas, naturalmente menos precisas, é um investimento infrutífero.

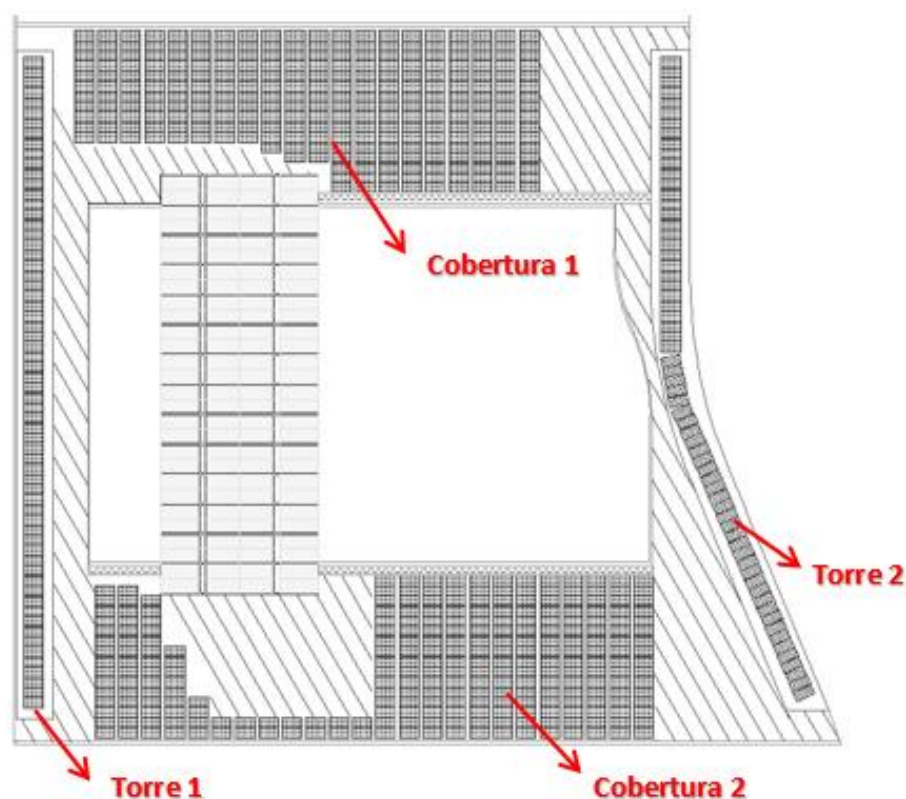


Figura 36 - SEBRAE Nacional, Asa Sul - Acervo Pessoal

2.2.6 PERDA DE EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS AO LONGO DO TEMPO

O fato conhecido sobre a eficiência das placas solares ao longo do tempo é de que há uma perda natural de capacidade de conversão, de origem diversa. As principais causas são de origem térmica, ciclos frequentes de aquecimento e resfriamento, oxidação de metais, mesmo que com proteção e revestimento após anos não é possível proteger inteiramente o módulo.

É comum no mercado admitir uma perda de 1% da eficiência original no primeiro ano, e decair de maneira linear nos próximos 24 até o limite de 80% da eficiência original. Alguns estudos têm observado o comportamento não linear das tecnologias mono e Policristalina, mas sem evidências suficientes para conclusões extrapoláveis e aplicáveis. Na Figura 37 apresenta-se o decaimento de uma placa específica (Trina 335W), afim de ilustrar o comportamento do fenômeno.

Dessa forma, é importante reconhecer o fenômeno para que se compreenda que o mesmo sistema, anos após a instalação, produz com a mesma irradiância menor quantidade de energia.

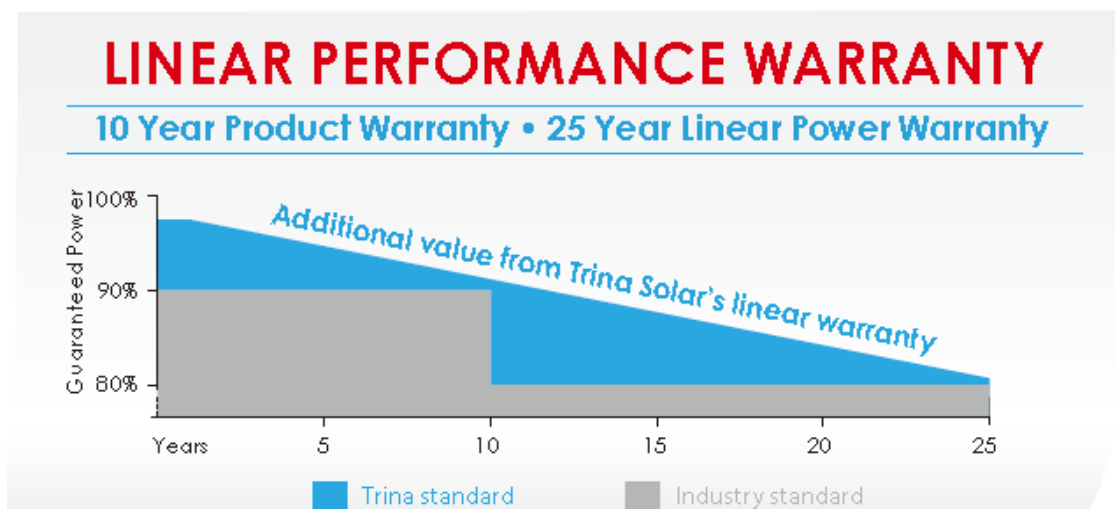


Figura 37 - Decaimento da eficiência de conversão em corrente contínua de módulos fotovoltaicos. Fonte: Trina Solar Pannels (2015)

2.2.7 TEMPERATURA DE OPERAÇÃO DAS CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

O aumento da temperatura de uma célula fotovoltaica diminui a tensão produzida entre seus polos, reduzindo consequentemente a sua capacidade de geração de energia. Essa redução de eficiência das placas varia em torno de -0,3 a -0,5%/°C para células de silício usuais.

As células e módulos fotovoltaicos apresentam em suas folhas de especificações (*datasheet*) a sua Temperatura Nominal de Operação, normalmente identificada pela sigla NOCT (do inglês, *Nominal Operating Cell Temperature*), a partir da qual é calculada a capacidade real de produção de energia elétrica com base nos valores de temperatura no local de implantação do sistema. A Figura 38, deixa representado o impacto.

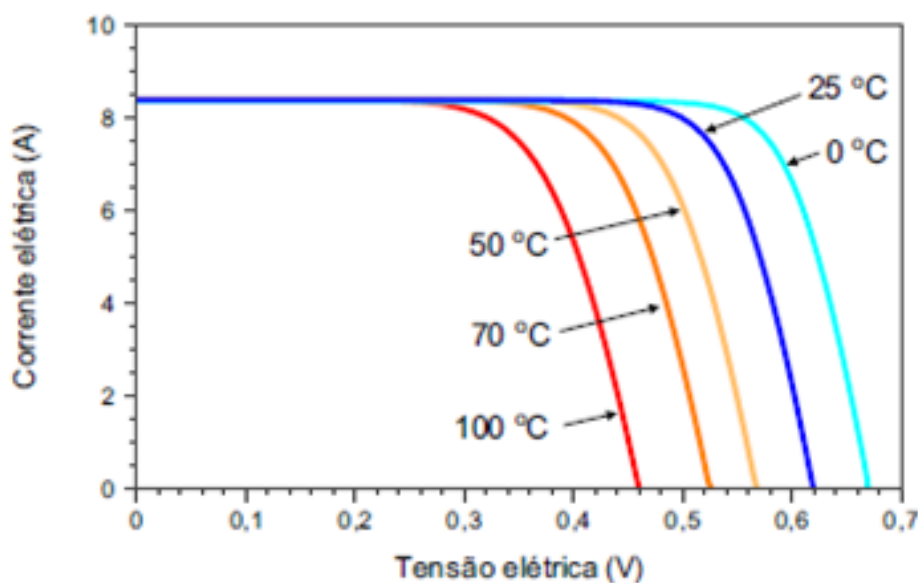


Figura 38 - Influência da temperatura em células fotovoltaicas de silício, Fonte: Manual de Engenharia, 2014.

Dessa forma, é importante conhecer a temperatura do local onde se almeja projetar um sistema de módulos fotovoltaicos baseados em silício, e combater ao mito de que um lugar quente, necessariamente é um local propício para se projetar sistemas solares, ao menos os fotovoltaicos, como em regiões desérticas, ou no sertão brasileiro, por exemplo.

As células de silício fotovoltaico, são testadas em laboratório e especificadas pelo fabricante, para uma temperatura de 25°C. Dessa forma, é importante observar nos catálogos da tecnologia selecionada os impactos da temperatura ambiente no funcionamento do sistema. É recomendado, que sempre sejam selecionadas tecnologias que percam até 0,5% de eficiência por °C acima de 25. A partir dos dados apresentados na Figura 39, um exemplo real:

TEMPERATURE RATINGS	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	44°C (±2°C)
Temperature Coefficient of P_{MAX}	- 0.41%/°C
Temperature Coefficient of V_{oc}	- 0.32%/°C
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.05%/°C

Figura 39 - Exemplo de catálogo de módulo fotovoltaico de células de silício (Trina Solar)

Em um ambiente laboratorial de 25 °C, a célula no módulo opera com 44°C, com variação de até 2 graus. Para cada °C do ambiente acima de 25, a potência máxima do módulo cairá em 0,41%/°C, a tensão do circuito aberto em 0,32%/°C e a corrente de curto circuito aumentará em 0,05%/°C.

Nos dias frios, a potência máxima do módulo, a tensão de circuito aberto e a corrente de curto circuito sofrerá as mesmas variações, mas em sentidos opostos.

Acréscimo de 0,41%/°C e 0,32%/°C para os dois primeiros, e decréscimo de 0,05%/°C para o último.

2.3 PRINCÍPIOS ECONÔMICOS DE ANÁLISE

Além da compreensão técnica, e dos conceitos adjacentes a tecnologia fotovoltaica, é necessário pontuar que há variáveis incontroláveis ao investidor, e raciocínios econômicos saudáveis para serem compreendidos e aplicados, antes da tomada de decisão. Todos os principais tópicos, serão abordados com o intuito de favorecer a consciência do leitor ao redor da opção deste investimento.

2.3.1 O CUSTO DA ENERGIA ELÉTRICA

Na Figura 41 fica demonstrado o grande impacto dos impostos brasileiros que incidem sobre o custo final ao consumidor. Cerca de 60,3% é o custo real da energia, e 39,7% os impostos que incidem na geração e distribuição. O ponto principal, ao produzir a própria energia é pagar os impostos apenas no momento do investimento, pois os impostos estão presentes na compra dos componentes, mas ao longo da vida útil do sistema, ao observar o total de impostos pagos é uma das maiores economias do sistema, entretanto o conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ-2013), tem um entendimento contrário a ANEEL sobre a forma de se tributar a energia elétrica gerada. Outro ponto de interesse, explicado nas próximas seções é calcular o preço final da geração de energia, quando gerado pelos painéis fotovoltaicos.



Figura 40 - Site CEB (2019). Adaptado.

A Tarifa Social de Energia Elétrica é um benefício instituído pela Lei Federal 10.438/02 para atender às famílias enquadradas na subclasse residencial baixa renda, caracterizada por descontos incidentes sobre a tarifa aplicável à classe residencial.

Um ponto de fundamental importância a ser compreendido, é que com respeito à micro e mini geração distribuída, é importante esclarecer que o Conselho Nacional de

Política Fazendária – CONFAZ aprovou o Convênio ICMS 6, de 5 de abril de 2013, estabelecendo que o ICMS apurado tem como base de cálculo toda energia que chega à unidade consumidora proveniente da distribuidora, sem considerar qualquer compensação de energia produzida pelo micro gerador. Com isso, a alíquota aplicável do ICMS incide sobre toda a energia consumida no mês conforme anunciado pela ANEEL, em 2014.

A ANEEL, embora com entendimento diferente, não tem autoridade para tomar essa decisão. De forma que, para incentivo das iniciativas de geração de energia elétrica autônoma, esse ponto é de imenso interesse e impacta significativamente na análise do investimento. Caso um sistema produza 80% de sua energia, ainda é tributado por 100% do total consumido, independente do provedor, no que tange ao ICMS.

Em 2002/03 as leis 10.637 e 10.833, ficaram determinadas as alíquotas de PIS e COFINS, e obedecendo ao regime de tributação não cumulativo, isto é, cada etapa da cadeia produtiva se apropria dos créditos decorrentes das etapas anteriores.

$$\text{PIS} = 1,65\%; \quad \text{COFINS} = 7,60\% \quad \text{Total: } 9,25\%$$

Um ponto a ser destacado, referente as tarifas mínimas, é que ainda que um sistema gere 100% da energia que consuma, a depender da alimentação e grupo de consumo, devem ser pagas as contribuições mínimas de distribuição. Essa cobrança é entendida, como o custo de disponibilidade (30 kWh, 50 kWh ou 100kWh para monofásico, bifásico ou trifásico, respectivamente).

Outro ponto relevante para análise, é que dentro de um mesmo sistema de distribuição, um proprietário de várias localidades, pode construir um sistema de compensação em que os créditos excedentes ao consumo de uma UC (Unidade de Consumo), podem ser utilizados por outra. Obedecidos os limites de 36 meses, e viabilidade técnica da concessionária, além da relação de tarifas, é possível construir uma proposta mais interessante para proprietários de grandes áreas rurais, ou regiões subutilizadas que podem ser utilizadas de maneira interessante afim de elevar a eficiência de edificações e empresas.

Para esclarecer as análises de escolha de painéis fotovoltaicos, foram concebidos termos específicos pelos cientistas e acadêmicos da tecnologia, afim de tornar mais objetiva a comparação entre painéis e sistemas.

Seguem esclarecidos os significados dos termos mais usuais a serem utilizados nas seções posteriores. As definições foram obtidas dos sites da NeoSolar e Solar Central, ambos de agentes do mercado brasileiro sobre a tecnologia (2018).

Tabela 2 - Termos técnicos mais usados no setor Fonte: NeoSolar e SolarCentral (2018)

W (Watt)	Unidade de medida para potência (equivalente a 1 Joule por 1 segundo). Potência é a quantidade de energia cedida em um determinado tempo.
Wh (W-hora)	Unidade de medida de energia gerada. Exemplo: Uma potência de 10W exercida por 3 horas equivale a $10 \times 3 = 30$ Wh.
Wp (W-pico)	Unidade de potência não muito usual e foi criada para caracterizar os painéis fotovoltaicos. A Potência que um painel fotovoltaico fornece pode variar conforme as condições de irradiação e temperatura a qual está submetido, sendo que a potência fornecida por um painel ao meio-dia, com sol pleno, é maior do que a potência fornecida pelo mesmo painel no início da manhã ou no final de tarde. Dessa maneira, podemos caracterizar a potência do painel em Wp como sendo a potência deste painel quando submetido as condições padronizadas de teste STC (<i>Standard Test Conditions</i>). A STC considera temperatura da célula de 25°C, espectro de massa de ar 1.5, irradiação solar padronizada de 1000W/m ² (que pode ser considerada a irradiação ao meio-dia de um dia claro e quente). Desta maneira, podemos comparar a produção de cada painel fotovoltaico, quando submetidos a mesma irradiação. Não podemos supor, no entanto, que um painel fotovoltaico irá fornecer a sua potência em Wp durante o dia todo.
kWh (kilo W hora)	São 1000 Wh sendo que k se refere a 1000 (em notação científica 10 ³) para qualquer unidade de medida, como por exemplo, kWp e kW que são 1000Wp e 1000W respectivamente. kWh é a unidade de medida de nossa conta de luz.

Um último tópico, a ser discutido sobre o custo da energia, principalmente para os sistemas fotovoltaicos, é sobre a unidade R\$/kWp que ao dividir o custo global de se instalar o sistema da potência deste, pode-se estimar o custo de se produzir a própria energia e comparar esse custo a outros sistemas, julgando a eficiência da proposta de maneira rápida. O ponto principal, neste aspecto é disponibilizar neste trabalho um banco de dados mínimo, com intuito de despertar uma sensibilidade comparativa para o tomador da decisão de quão eficiente foi a proposta do fornecedor do sistema. A tabela 3, embora limitada a 2 casos, demonstra que para uma mesma tarifa, o grau de eficiência da mesma tecnologia varia, sendo mais vantajosos os sistemas maiores, que maximizam a capacidade de operação dos componentes. Além disso, um tomador de decisão que visualize essa informação, com mais casos reais dimensionados, se torna mais consciente da qualidade da proposta de um sistema que busque para si.

Tabela 3 - R\$/kWp Sistemas Dimensionados

kWp	Sistema (R\$)	R\$/kWp
5,3	R\$ 40.000,00	R\$ 7.547,17
67	R\$ 400.000,00	R\$ 5.970,15
	Residências	
	Pequenos Negócios	

Outra variável, com a mesma lógica, é dimensionar o preço do serviço de instalação do sistema, que de maneira geral, pode reduzir em até 10% o custo do aporte inicial, que é alto. A tabela 4, com base em uma extensa pesquisa realizada com mais de 600 profissionais do setor em novembro de 2018, apresenta a seguinte média de preços praticados (Portal Solar):

Tabela 4 - Custo de Instalação (Mão de Obra) dos componentes do sistema

kWp	Instalação (R\$)	R\$/kWp
1,32	R\$ 3.500,00	R\$ 2.651,52
1,98	R\$ 4.500,00	R\$ 2.272,73
2,68	R\$ 5.100,00	R\$ 1.902,99
3,30	R\$ 6.900,00	R\$ 2.090,91
3,96	R\$ 7.100,00	R\$ 1.792,93
4,62	R\$ 7.500,00	R\$ 1.623,38
5,28	R\$ 8.800,00	R\$ 1.666,67
5,94	R\$ 9.000,00	R\$ 1.515,15
6,67	R\$ 9.000,00	R\$ 1.349,33
7,30	R\$ 10.200,00	R\$ 1.397,26
8,58	R\$ 10.800,00	R\$ 1.258,74
9,24	R\$ 12.500,00	R\$ 1.352,81
10,56	R\$ 15.000,00	R\$ 1.420,45
12,54	R\$ 16.000,00	R\$ 1.275,92
15,84	R\$ 19.000,00	R\$ 1.199,49
22,44	R\$ 28.000,00	R\$ 1.247,77
29,70	R\$ 35.000,00	R\$ 1.178,45
52,80	R\$ 55.000,00	R\$ 1.041,67
105,60	R\$ 90.000,00	R\$ 852,27
Residências		
Pequenos Negócios		
Indústrias		

2.3.2 BANDEIRAS TARIFÁRIAS E TARIFAS BÁSICAS

A bandeira tarifária representa o custo real da geração de energia no Brasil, que é variável, pois depende das usinas que estão sendo usadas. Quando ela for paga, terá o mesmo valor para todos os consumidores do país. É importante lembrar que a bandeira tarifária não faz parte da tarifa de energia. Na Figura 41, o sistema de bandeiras tarifárias:

- Bandeira Verde: condições favoráveis de geração de energia. A tarifa não sofre nenhum acréscimo.
- Bandeira Amarela: condições de geração menos favoráveis. A tarifa sofre um acréscimo para compensar o custo da condição menos favorável para geração de energia.
- Bandeira Vermelha - Patamar 1: condições mais custosas de geração. A tarifa sofre um acréscimo maior que o da Bandeira Amarela.

- iv. Bandeira Vermelha - Patamar 2: condições ainda mais custosas de geração. A tarifa sofre um acréscimo maior que o da Bandeira Vermelha - Patamar 1.



Figura 41 - Custo adicional das bandeiras tarifárias, Fonte: ANEEL 2017

O histórico nos últimos anos, apresentados na sequência, foi obtido por publicações jornalísticas (G1), e tem intento único de conscientizar o leitor da dinâmica que governa essa condição de cobrança. Os principais fatores são:

- i. Ativação de termoeletricas e outras alternativas, cujo custo de produção é mais elevado que as hidrelétricas
- ii. Reservatórios em baixos níveis devido a longas temporadas de seca. É possível, com orientação técnica especializada caracterizar os anos futuros com a tecnologia de meteorologia, hidrologia e climatologia disponível.
- iii. Desequilíbrio financeiro das concessionárias e da união;

Preço da energia

Mais da metade dos meses teve bandeira vermelha desde 2015

Período	2015	2016	2017
janeiro			
fevereiro			
março			
abril			
maio			
junho			
julho			
agosto			
setembro			
outubro			
novembro			
dezembro			

Figura 42 - Bandeiras aplicadas de 2015 a 2017

Quando um local possui um sistema alternativo de geração de energia, este fica menos vulnerável às situações em que o custo da geração de energia pública cresce. Do ponto de vista individual e coletivo, a situação é vantajosa, pois decresce o custo com energia para o primeiro, e reduz a solicitação do sistema, sendo assim um vetor para a harmonização do sistema em bandeiras mais baratas.

A Tarifa Branca é uma opção de tarifa para clientes atendidos em baixa tensão (127, 220, 380 ou 440 Volts) em que o valor da energia muda de acordo com os dias e horários de consumo.

Existem as informações oficiais disponibilizadas pela ANEEL no site dessa Agência Reguladora. O ponto crucial da Tarifa Branca é o hábito de consumo do cliente. Ele precisa entender as tarifas diferenciadas de cada faixa de consumo, os hábitos de utilização de equipamentos no dia a dia (considerando membros permanentes e eventuais da unidade consumidora), a possibilidade de ajuste nesses horários.

O custo relacionado à energia elétrica fornecida pela rede de distribuição é composto por três fatores, sendo os horários de ponta de 17 às 21h:

- i. Consumo de energia no horário de ponta (Exceto sábados, domingos e feriados)
- ii. Consumo de energia no horário fora de ponta (nos demais horários)
- iii. Demanda média mensal de potência elétrica: média das potências ativas e reativas solicitadas pelas cargas elétricas instaladas no edifício.

Com projetos inteligentes de monitoramento de consumo e geração é possível evitar comprar energia nos horários de pico, e assim economizar cerca de 400% em pequenos intervalos de tempo, mas ao longo da vida útil, grande economia em valores absolutos.

Na Figura 43, dados de um estudo realizado em 2015 em Brasília, com a CEB como concessionária estatal, estão expostos os dados reais praticados na época.

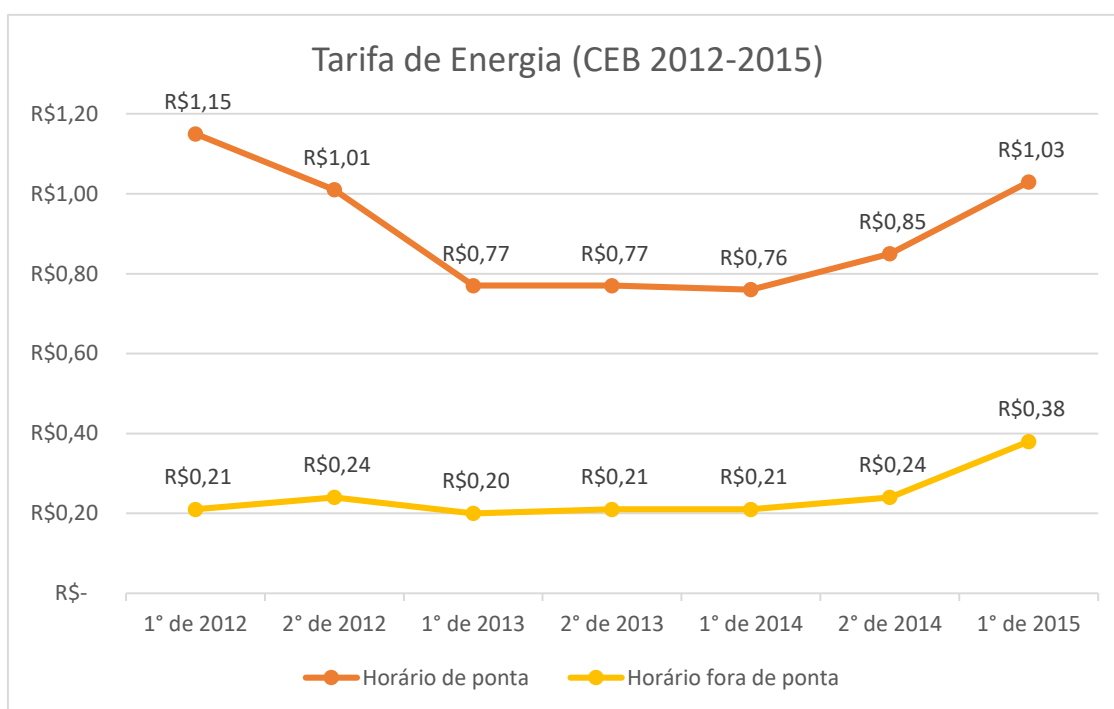


Figura 43 - Evolução da tarifa por semestre. Dados: CEB, 2015.

O ponto central, da análise dos padrões de consumo e cobrança estão no fato de ao adaptar uma rotina operacional de maneira eficiente, é possível elevar a eficiência, em termos econômicos em alguns pontos percentuais com decisões simples. Para empresas enquadradas dentro do regime tributário do simples nacional, com faturamentos de até 3,6 milhões por ano, é possível elevar a eficiência em até 4% (Representatividade média do custo de energia elétrica em pequenas empresas, com faturamento mensal médio de R\$ 100 mil, SEBRAE). Na segunda parte deste trabalho, o racional econômico será esclarecido, mas em termos gerais, devido as características da tecnologia e do mercado, a decisão se torna financeira, não técnica, de forma que se torna muito atrativa e relativamente simples de ser tomada.

2.3.3 EVOLUÇÃO INFLACIONÁRIA DE ENERGIA

O valor da tarifa de energia é a variável mais importante quando se trata de analisar o retorno do investimento em energia solar fotovoltaica. Quanto mais cara a tarifa, mais favorável financeiramente é a implantação do sistema de geração fotovoltaico, pois a energia que se produz é traduzida em maior economia financeira, ou seja, o recurso gerado se tornou mais valioso. Dessa forma, a inflação tarifária favorece o valor do sistema no longo prazo, e seu VLP é mais elevado, o tempo de *payback* menor.

As tarifas são governadas, complementando o exposto nos itens anteriores, por apenas 3 principais fatores:

1. Concessionária Local;
2. Tipo de instalação: Grupo A ou B, e suas variações;
3. Bandeira Tarifária;

Além da Tarifa, há uma variável que é diretamente ligada a mesma, e fundamental para o cálculo do retorno do investimento em energia solar fotovoltaica, que é a inflação energética, a variação do valor da Tarifa de Energia no tempo.

Instalar um sistema solar fotovoltaico é um seguro contra a inflação energética. Em 2013, houve uma queda artificial nos preços que acabou gerando um desequilíbrio nas contas das concessionárias (R\$ 60 bilhões) e um efeito reverso, fazendo com que as tarifas subissem muito mais apenas um ano depois da queda. Esses eventos impactam na análise do investimento, sendo sempre mais interessante quando as tarifas sobem, pois, a economia se torna maior pelo fato de se gerar a própria energia e vender esse ativo pelo valor mais alto, quando o custo de geração é estático.

O que isso significa é que: ao observar o histórico de evolução de preços, e compreendendo: O aumento consistente do consumo (tecnologia e população) (i); Aumento consistente da demanda de capital no setor elétrico para sua infraestrutura (manutenção e expansão) (ii), é de se esperar certo aumento de preços e ainda outros provenientes de intervenções governamentais (i), o risco Brasil, crises mundiais de crédito (ii) – afinal, hoje o sistema brasileiro de energia elétrica fundamenta-se em *funding* e os valores de dívida pública são elevados –, risco de secas prolongadas (iii), uso de bandeiras tarifárias mais caras (uso de termoeletricas) (iv), avanço de políticas ambientais (v) que tornem mais desafiadores os projetos de ampliação do potencial de fornecimentos e distribuição de energia elétrica.

De forma direta, a ampla possibilidade de aumento de preços e certa segurança de que os preços não serão permanentes dá ao investidor do sistema uma grande parcela de defesa contra essas possíveis mudanças frente ao uso de um recurso que é fundamental e

de necessidade perene. É razoável concluir, que investir em uma alternativa que previna o usuário de ficar à mercê dos riscos sem haver grande comprometimento patrimonial, em verdade, ampliando o próprio patrimônio à medida que se resguarda, é uma decisão inteligente.

Outra pergunta de interesse é: Observar o passado e determinar uma taxa segura para os próximos anos, qual seria um horizonte razoável? Talvez para projetos maiores, como parques solares, seja necessário ir além de 15 anos e entender profundamente o impacto e frequência da atuação de agentes do setor.

Reajuste Tarifário Anual: o reajuste é aplicado anualmente e tem o valor definido pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica). Ele serve para manter o equilíbrio financeiro da distribuidora de energia, fazendo com que ela possa cumprir suas obrigações com os consumidores e os órgãos reguladores.

* Em eventos específicos, o governo brasileiro interfere diretamente no setor de energia, e pode alterar significativamente as projeções de um investimento feito em sistemas fotovoltaicos, de maneira favorável ou desfavorável. Em 2015 e 2018, houve dois eventos extraordinários que modificaram a dinâmica natural da matriz energética brasileira, e consequentemente nos preços praticados no mercado. Outro evento provável, já anunciado em 2015, é que o regulamento da geração distribuída de 2012 será revisto em 2019, o que indica mudanças na forma que a economia deste investimento funcionará.

2.3.4 CUSTO DE OPORTUNIDADE

O investimento em energia solar pode definitivamente ser comparado a ativos do mercado financeiro, dado que envolve um dispêndio de capital que retorna ao longo dos anos, no caso do solar, pelo menos 25 anos ou mais. Portanto, calcular a taxa de retorno do investimento em energia solar e compará-lo a outros é uma etapa natural do processo de decisão e dimensionamento da opção.

É comum avaliar a proposta com opções do tesouro direto com taxas pré-fixadas, devido ao volume de capital, e previsibilidade de retorno. Neste ponto, as principais variáveis de interesse são:

1. Capital Aportado no presente;
2. Percentual da inflação tarifária;
3. Taxa de rendimento da oportunidade concorrente;
4. O valor da tarifa no presente;
5. A taxa de kWh/kWp de geração do sistema na região;
6. O horizonte temporal, normalmente 25 anos, com compra de novo inversor no ano 15.

Mas há um ponto adicional, normalmente não observado nesta etapa. Usualmente o usuário final do sistema, neste exemplo um pequeno empresário, não possui o capital necessário no início, e isso nem é necessário. É seguro assumir, que os custos com energia elétrica serão perenes, durante toda a vida útil de sua empresa (exceto na ruína, embora o local possivelmente ainda seja ocupado por outro agente). Dessa forma, o ponto de interesse deste sistema é como se resume abaixo:

1. O custo de energia elétrica, é crescente e será contínuo.
2. Um sistema fotovoltaico pode ser dimensionado para que a energia gerada seja superior ao consumo histórico da edificação, ou o padrão de consumo da utilidade proposta.
3. O capital necessário pode ser financiado, de forma que, as parcelas pagas sejam financeiramente iguais, em valor, a média da despesa de energia elétrica.
4. Por 4 a 6 anos, tanto o *payback* quanto o financiamento serão cumpridos. Dessa forma, sem alterar o fluxo de caixa da empresa, o empresário obteve patrimônio e pelo resto da vida útil do sistema, 19 a 21 anos, não haverá despesa com energia elétrica, exceto pelas tarifas obrigatórias de disponibilidade e iluminação pública.
5. Ao investir nesta alternativa, a depender do estado, é possível economizar, nos primeiros 5 anos, até 80% do IPTU da área utilizada, e produzir uma variação positiva no fluxo de caixa, para antecipar a dívida com o dono do capital do aporte inicial.

CAPÍTULO IV DOS INCENTIVOS FISCAIS

Art. 14. É estabelecido o desconto de até 80% (oitenta por cento) do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU), proporcional ao índice de aproveitamento de energia solar.

§ 1º O prazo do incentivo descrito no *caput* fica limitado em até 5 (cinco) anos.

§ 2º O incentivo definido neste artigo não se aplica em glebas não micro parceladas e/ou em áreas micro parceladas com empreendimento com baixo índice de ocupação.

Programa Palmas Solar, Brasil. (2016)

6. Em cenários ideais, o volume do impacto ambiental, gera crédito de emissão de carbono, que podem também serem monetizados, reduzindo ainda mais o valor monetária devido ao passivo da dívida criada para implantar o sistema. Além disso, empresas com responsabilidade ambiental se tornam destacadas em seus mercados, podendo haver respaldo midiático e mídia espontânea favorável ao comércio.

2.3.5 FLUXO DE CAIXA

Dentro deste estudo, o método de avaliação do investimento será do fluxo de caixa descontado, abaixo serão especificados os termos necessários para se construir projeções de fluxo de caixa, e que tecnicamente validam a opção de investimento. Nesta etapa, o intento principal do trabalho é descrever o método utilizado.

Neste tópico, vale destacar os reais benefícios para o uso de técnicas de elisão fiscal, ou na literatura financeira tradicional *Tax Shield*. (Escudo para impostos). Figura 44



Figura 44 - *Tax Shield* Fonte: Investopaedia.com

Depreciação Acelerada: Quando é possível rastrear o custo de aquisição de bens depreciables, e a empresa está registrada dentro do regime de lucro real, antes de se aplicar a alíquota de impostos é possível deduzir o montante de lucro tributável de diversas maneiras legais, uma delas é a de depreciação acelerada, que nada mais é que admitir um tempo razoável que a empresa utilizaria capital novamente para investir em ativos da categoria, ou seja, parte do valor de depreciação dos bens da empresa são utilizados para deduzir o montante tributável e pagar menos impostos. Algumas empresas que detêm muitos ativos depreciables, em temporadas de expansão do negócio, se utilizam deste artifício para criar uma alavanca suficientemente grande para que todo o montante tributável seja deduzido, e por alguns anos, todo o lucro da empresa está alocado em seu crescimento, após anos, o montante evitado com impostos fez com que a eficiência do capital fosse maior. Seguramente, este é um artifício arriscado e poucas empresas criam alavancas tão agressivas, mas combinam estratégias para reduzir o montante de impostos pagos.

Juros sobre dívida contraída: Quando uma empresa contrai uma dívida para sua operação, e está em regime de lucro real, é possível deduzir o lucro tributável no valor dos juros da dívida. Da mesma forma que a depreciação acelerada, contrair dívidas pode ser uma estratégia válida para alavancar resultados, ao mesmo tempo que reduzindo o valor pago em impostos. Algumas empresas utilizam estratégias de quatro vezes o fluxo de caixa anual sendo o montante total de dívida que se pode operar, para que assim, possa comprar outras empresas ou investir na operação de forma inorgânica e assumir ganhos

mais elevados com o mesmo fluxo de caixa, que a medida que o tempo transcorre e o sucesso da estratégia se consolida, a dívida pode ser esgotada rapidamente.

Utilizando-se dos dois artifícios simultaneamente, o investimento no sistema se torna atrativo para grandes corporações que podem se beneficiar do benefício fiscal com mais ênfase que o benefício incremental funcional do consumo de energia elétrica.

O fluxo de caixa utilizado para o estudo de caso aborda: custo de implantação, contração da dívida, juros, seguros, fundo garantidor de crédito, troca de inversor no 13º ano, inflação IPCA histórica, inflação da tarifa de energia elétrica histórica, taxa de juros BNDS para dívida de 8% a.a, tarifa mínima para iluminação pública R\$ 118,00 em 2019, incentivo de IPTU programa Brasília solar, custo de operação e manutenção com visitas técnicas 2 vezes por ano e perda de eficiência dos módulos afim de garantir 80% da eficiência após 25 anos.

Não são considerados: depreciação acelerada de ativo, ganho monetário com redução de pegada ecológica e ganho por eficiência tributária utilizando juros como escudo de impostos.

2.3.5.1 VPL

Baseia-se em projetar os valores futuros (custos mais receitas) para a data atual, corrigidos pela taxa inflacionária, a fim de avaliar o possível retorno financeiro do investimento. (Lawrence J. Gitman, 2011)

É calculado a partir da diferença entre o valor dos benefícios advindos da implantação do sistema e dos respectivos custos. Um resultado de Valor Presente Líquido (VPL) positivo indica viabilidade e o desdobramento de ações podem se basear nas magnitudes do VPL, isso é, quanto maior o índice, maior o retorno proporcionado pelo investimento. A equação exemplifica:

$$VPL = \sum \frac{(B_t - C_t)}{(1 + d)^t}$$

Equação 3 - Valor Presente Líquido

- i. VPL Valor Presente Líquido
- ii. C_t Custo total referente a instalação e operação a cada ano t ;
- iii. B_t Benefício total gerado ao longo do tempo para cada ano t ;
- iv. D Inflação, taxa de aplicação (em anos);
- v. t : Tempo (em anos);

2.3.5.2 Período de Retorno (Payback)

O período de retorno (PR) é o tempo que determina a relação entre o custo do investimento inicial e os benefícios (economia na fatura mensal) obtidos pelo

investimento (Lawrence J. Gitman, 2011). Refere-se então, a o período de tempo em que os rendimentos do investimento compensam o custo para implantação, manutenção e operação do sistema:

$$PR = \frac{I_0}{e}$$

Equação 4 - Payback

- i. PR: Período de Retorno
- ii. I_0 : investimento inicial (em reais);
- iii. e: economia anual na tarifa (em reais);

2.3.5.3 Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e Taxa Interna de Retorno (TIR)

TIR: É o percentual de rendimento médio ao longo da vida útil do sistema considerada no ano de referência. Representará viabilidade econômica quando TIR for maior ou igual a taxa de atratividade, ou de desconto. Dessa maneira, o conceito valida que a opção de investir na alternativa é mais vantajosa que manter o capital na alternativa de TIR mais baixa, dentro do mesmo horizonte temporal. (Lawrence J. Gitman, 2011).

Nesse contexto, insere-se a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) a qual é a taxa rendimento que atrai um investidor a alocar o capital. Cabe ao investidor definir a sua Taxa Mínima de Atratividade de acordo com seus recursos disponíveis, experiência de mercado, área de atuação e perfil de investimentos (Lawrence J. Gitman, 2011). Caso seja utilizado capital de múltiplas fontes utiliza-se um método matemático para ponderar a taxa de desconto. (WACC)

A Taxa Interna de Retorno é calculada pela expressão a seguir:

$$\sum \frac{B_t - C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Equação 5 – Taxa Interna de Retorno

- i. TIR Taxa Interna de Retorno
- ii. C_t Custo total referente a instalação e operação a cada ano t;
- iii. B_t Benefício total gerado ao longo do tempo para cada ano t;
- iv. T Tempo (em anos);

2.4 Legislação e Prescrições normativas

Para se instalar um sistema fotovoltaico, é necessário conhecer também as definições normativas e restrições associadas a implantação de sistemas de geração de energia

relacionadas à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), à Companhia Energética de Brasília (CEB), ao conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Distrito Federal (CREA-DF), à Administração de Brasília e Secretaria de Gestão do Território e Habitação (SEGETH), ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e ao Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF).

Apresenta-se, neste relatório as diretrizes gerais a serem conhecidas de cada órgão, para o sucesso pleno da implantação, conhecimento dos prazos associados e conhecimentos necessários para uma abordagem prática das atividades necessárias para construir a proposta de investimento de maneira completa, expondo inclusive especificidades, que em sua maioria, são comuns a propostas dessa natureza, sendo necessário conciliar várias disciplinas para compreensão verdadeira dos impactos da decisão, não somente os conhecimentos técnicos e econômicos, mas também os empresariais, burocráticos e outros tangentes.

2.4.1 ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

A Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica estabelece as condições gerais para implantação e conexão de sistemas de microgeração e mini geração distribuída de energia, assim como define o sistema de compensação energética. Os sistemas de microgeração de energia são aqueles com potência instalada menor ou igual a 100 kW, enquanto os sistemas de mini geração são aqueles com potência instalada superior a 100 kW e inferior a 1 MW.

O processo completo, de maneira geral, incluindo os prazos exigidos pela ANEEL, são resumidos na ilustração da Figura 45, extraída dos cadernos temáticos explicativos dos sistemas de compensação para micro e mini geração de energia. Caso o sistema seja de mini geração e exigir obras na rede, é previsto um prazo de 60 dias, sujeito ainda à agenda da distribuidora responsável pelas obras.

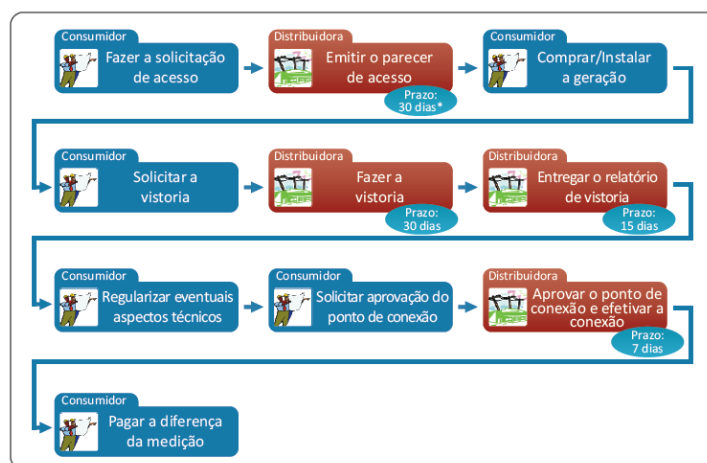


Figura 45 - Fluxo de instalação do leitor bidirecional para compensação de energia gerada. ANEEL (2014)

No caso de sistemas de mini geração “on-grid”, o consumo de energia a ser faturado em cada mês é a diferença entre a energia consumida e a injetada, de acordo com as faixas tarifárias correspondentes ao horário de produção/consumo de energia, sendo estabelecido que o valor mínimo faturado corresponde ao valor cobrado pela Demanda Contratada no edifício. Os créditos obtidos a partir da injeção de energia elétrica na rede são válidos por até 36 meses após a data do faturamento.

A potência instalada do sistema é limitada ao valor da demanda contratada no edifício, quando este faz a opção pela análise funcional de consumo de energia nos horários dentro e fora de ponta.

2.4.2 CEB – COMPANHIA ENERGÉTICA DE BRASÍLIA

As companhias estaduais de distribuição de energia elétrica, têm, de modo geral, abordagens muito similares às propostas dessa natureza, e embora o país ainda não apresente uniformidade para essa tratativa, a CEB do DF, tem a maior parte do processo mapeado e diversos sistemas de muitas variações instalados.

Para implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede de distribuição em Brasília há a necessidade, primeiramente, de cumprimento de todos os pontos na “Lista de Conferência para Projetos de mini e Microgeração Distribuída – GRPV”, que inclui os projetos técnicos com indicação e especificação dos módulos fotovoltaicos e inversores, anotações de responsabilidade técnica (ART) referente aos projetos e execução de obra, documento de registro de central geradora de energia e formulário de acesso para geração distribuída.

No verso da folha da “Lista de Conferência para Projetos de Mini e Microgeração Distribuída – GRPV” há o “Formulário de Acesso Para Geração Distribuída”, o qual necessita ser preenchido.

Para implantação de Sistemas de mini geração distribuída também é exigido que:

- i. O Inversor tenha uma proteção anti-ilhamento de acordo com as prescrições da NBR IEC 62116/2012, e que esse seja localizado em local de fácil acesso;
- ii. Os Módulos Fotovoltaicos sejam certificados pelo INMETRO;
- iii. Seja realizado estudo de resistência do telhado ou laje para garantir a sua estabilidade estrutural após aplicação das sobrecargas relacionadas aos equipamentos instalados. Para os sistemas conhecidos, em edificações e planos, a sobrecarga é estimada em até 50 kgf/m².

2.4.3 IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS MEIO AMBIENTE

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é responsável pelas ações relativas ao licenciamento e fiscalização ambiental a nível federal.

As licenças ambientais para mini geração de energia são concedidas a nível estadual/distrital, sendo o Instituto Brasília Ambiental (IBRAM) o órgão responsável pelo licenciamento ambiental no Distrito Federal.

Para obter licenciamento e/ou parecer técnico é necessária a apresentação dos projetos técnicos e memorial descritivo em conjunto com os seguintes documentos (originais ou autenticados):

- i. Cópia da Consulta Prévia para Fins de Licença de Funcionamento (ou Alvará de Funcionamento/Construção, ou ainda, da Declaração da Administração Regional aprovando a viabilidade urbanística do empreendimento no local);
- ii. Cópia dos documentos pessoais do requerente (RG e CPF);
- iii. Inscrição Estadual e Federal (CF/DF e CNPJ);
- iv. Cópia do Contrato Social;
- v. Mapa com a localização do imóvel;
- vi. Cópia da procuração, se for o caso, bem como dos documentos pessoais do procurador legal (RG e CPF);
- vii. Memorial Descritivo/Projeto Básico.

2.4.4 CREA – CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA

Para implantação de Sistemas de Geração Fotovoltaica, o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Distrito Federal (CREA-DF) exige que sejam preenchidas por profissional habilitado as Anotações de Responsabilidade Técnica (ARTs) referentes ao projeto elétrico e à execução da obra.

2.4.5 CBMDF – CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL

Para a instalação dos sistemas fotovoltaicos, precisam ser observados alguns cuidados específicos relacionados às técnicas e materiais que serão utilizados na sua construção, para minimizar o risco de acidentes e/ou falhas operacionais:

- i. Os materiais plásticos utilizados externamente na fixação dos condutores, como abraçadeiras, prensam cabos, etc., devem ser resistentes aos raios ultravioletas e às temperaturas às quais estarão expostos;
- ii. As partes metálicas, independentemente da finalidade, devem ser analisadas para que um eventual contato entre elas não ocasione problemas de corrosão;

- iii. É importante, e pouco observado, que a penetração dos condutores e das estruturas do sistema externas à edificação deve ser feita com espaços vedados contra a propagação do fogo e seus componentes;
- iv. Para garantir a segurança das pessoas, as brigadas de incêndio e companhias de seguro têm recomendado uma clara identificação dos sistemas fotovoltaicos. A informação “Cuidado – sistema fotovoltaico” informa às brigadas de incêndio ou bombeiros a existência desta forma de geração e permite que as medidas necessárias sejam tomadas durante um combate ao incêndio;
- v. Instalação de dispositivos adequados para proteção contra descargas atmosféricas, de acordo com as prescrições da NBR 5419/2015;
- vi. Instalação de descarregadores de sobretensão no barramento DC da caixa de junção geral do gerador;
- vii. Uso de proteção contra sobretensões no lado AC;
- viii. Identificar adequadamente os cabos DC e AC;
- ix. Evitar cruzamento dos cabos energizados com os condutores do Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas;

Os projetos devem ser encaminhados para o CBMDF para aprovação antes do início da implantação do sistema, sendo necessária uma vistoria após a instalação e outra antes do início do funcionamento.

2.5 Tópicos conclusivos

Diante do exposto, diversas observações podem ser elaboradas para nortear a percepção geral sobre a temática e tomar decisões conscientes sobre a tecnologia e seu contexto. Abaixo, serão expostos tópicos, com afirmações conclusivas sobre a reunião de informações apresentadas neste texto, afim de conduzir o intento desta proposta à sociedade de maneira aplicável e prática.

- i. A tecnologia em 1977, até os dias de hoje apresentou uma curva em queda exponencial em relação aos preços, e uma curva crescente, com quase 1000% de crescimento em 30 anos em relação a sua eficácia. Dessa forma, é maduro admitir que nos próximos anos, até 2025 (IRENA, 2016) a tecnologia atingirá estabilidade de preços para eficiências viáveis para aplicações civis (de 20 a 25%). Também é razoável presumir, segundo o líder do mercado mundial (Fraunhofer ISE, 2019), que em 2021 já será plausível projetar sistemas com eficiência global efetiva acima de 30%, ou seja: Em alguns, 3 anos, os projetos serão 50% mais baratos e 50% mais eficientes. Isso se traduz, em tempos de retorno mais rápidos, taxas de retorno mais competitivas, e possibilidade de aplicação civil em larga escala. Para os países de grande potencial solar, e alta disponibilidade de matéria prima, principalmente os mais críticos para fabricação de painéis, apenas com conhecimento disseminado (*know how*) e com o amadurecimento de parques industriais de ponta, o setor de energia solar poderá se tornar um novo setor industrial de grande potencial.

- ii. Diante dos bancos de dados sobre a geometria solar, os relatórios de desenvolvimento de tecnologias de energia sustentável e o notável crescimento na pauta entre as entidades governamentais, fica cada vez mais acessível e requerido o uso de alternativas tecnológicas que satisfaçam condições ambientais, econômicas e funcionais em larga escala. Dessa forma, é seguro presumir que a adaptação em nível governamental a esta nova realidade seja urgente, para que na próxima década, seja possível atuar como um dos principais agentes dessa nova Revolução Industrial. No que tange a esta percepção, os dados e a informação se tornam a real matéria prima para nortear as decisões das pessoas, a respeito de qualquer alternativa. Mas antes de uma excelente disponibilidade de recursos, é necessário nutrir uma comunidade apta a lidar e a analisar opções de maneira assertiva e de agenda pautada na geração de riqueza no longo prazo, afim de promover a prosperidade das próximas gerações, no campo ambiental, no campo financeiro e no cenário internacional. O Brasil, como um dos países de maior dimensão do planeta, e sua localização dentro da geometria solar, apresenta vantagens competitivas intrínsecas em relação às nações e apenas carece de iniciativa e conhecimento de ponta para inaugurar internamente uma promissora indústria com boas perspectivas mercadológicas, tecnológicas e ambientalmente sustentável.

- iii. Os aspectos adjacentes a decisão de se investir em sistemas de mini geração de energia, são simples para a comunidade acadêmica, e sendo empreendidos esforços reais para apresentar alternativas já disponíveis ao público alvo dotado de características específicas, seria, supõe-se, natural o crescimento da participação da tecnologia fotovoltaica no mercado. Do ponto de vista governamental, além de novo entendimento sobre a tributação de recursos energéticos, principalmente o ICMS, será necessária uma nova análise e cuidadosa abordagem em relação aos programas de incentivo a ciência e a tecnologia. A geração de energia em nível individual, fere os aspectos de um monopólio natural do setor de energia elétrica, e, ao mesmo tempo torna a matriz energética mais segura. Outro ponto de interesse para entidades governamentais é de se analisar o posicionamento das agências reguladoras para equilibrar um mercado que constantemente tem inserido alternativas inovadoras transformacionais.

- iv. Do que tange a didática, este trabalho busca demonstrar que o primeiro passo para atravessar as barreiras que impedem a propagação de excelentes oportunidades, tanto funcionais como econômicas e comerciais, é a tradução e simplificação de conceitos para os verdadeiros tomadores de decisão que selecionam as alternativas que se tornarão a realidade. Isto é, os bancos, os empreendedores, os comerciantes, os representantes dos órgãos públicos e os *stakeholders* de projetos, em menor ou maior escala, que, norteados por um propósito claro de longo prazo, visualizem os parâmetros e seus impactos dentro de uma lente suficiente precisa para descrever um projeto sob múltiplos interesses. A leitura sobre os órgãos necessários e a grande variedade de agentes envolvidos no projeto, demonstra, no mínimo, que para construir projetos de grande vantagem para todos é necessária muita comunicação de qualidade e clareza nos objetivos de cada.
- v. A apresentação deste trabalho, tenta desenhar uma ponte entre vários conhecimentos: técnicos, empresariais, burocráticos, práticos e acadêmicos; para que, em última instância, sejam desenvolvidos métodos de comunicação efetivos entre idealizadores de soluções funcionais.
- vi. Os aspectos técnicos e de análise de viabilidade econômicos são, em sua maioria simples de serem apresentados e compreendidos, mas é a união e simplificação de todos os conhecimentos necessários que penetra a barreira que impede aqueles que se beneficiam da alternativa de prosseguir na realização de um projeto que envolva a tecnologia fotovoltaica.

3. METODOLOGIA APLICADA

Para analisar a proposta de investimento em sistemas fotovoltaicos, foram verificadas as premissas e variáveis de maior impacto. A pesquisa se baseia em:

- I. Entrevistas com fornecedores, buscando reunir todos os dados diagramados abaixo. Em 2 seções de interação, a primeira pessoal e a segunda por meio de comunicação virtual.
- II. Entrevista com agente do governo, inserido no setor elétrico.
- III. Consolidação das informações apresentadas para sugerir um termo de referência básico para empresas interessadas.
- IV. Modelagem do local, via Google Maps, SketchUp, AutoCAD, PVSyst, afim de simular arranjos e dispositivos necessários, conforme descritos.
- V. Análise econômica do edifício analisado, por meio das propostas e orçamentos de cada fornecedor, com auxílio dos conhecimentos apresentados.

RESUMO DAS INFORMAÇÕES COLETADAS

1. O sistema e seus componentes, além dos conhecimentos necessários que impactam o melhor desempenho possível. Foi observado, para determinação das conclusões deste trabalho, levando em conta não somente o apresentado em propostas, mas os dados levantados independentemente:
 - i. Irradiação Disponível e condições ambientais
 - ii. Área Útil e Potencial Máximo Possível;
 - iii. Sombreamentos no solstício de verão;
 - iv. Eficiência de Módulos, de Inversores e eficiência Global;
 - v. Inclinação dos módulos e espaçamento entre módulos
 - vi. Dispositivos de proteção;
 - vii. Custos de aquisição e instalação;
 - viii. Arranjo dos componentes
 - ix. Temperatura de Operação das Células Fotovoltaicas
2. Compilação de proposta de múltiplos fornecedores reais, de diferentes etapas do ciclo produtivo, e construção de modelo 3D de uma pequena edificação comercial, para avaliar e demonstrar aspectos da proposta. O modelo visa também a facilitação para que fornecedores disponham do máximo de detalhamento possível para propor arranjos e alternativas realistas.
3. As premissas do investimento, utilizando um exemplo real, serão apresentadas dentro de uma ficha que resuma todas as principais informações para construir e aprovar uma proposta. Esta ficha descreve intervalos de aceitação, e expectativas de resultados e condições.

O principal benefício de se diagramar racionalmente os dados relevantes está na sensibilidade comparativa despertada e estímulo para a livre competição entre os agentes do mercado. Outra, está na interdisciplinaridade necessária para selecionar os fornecedores de cada etapa do processo e os representantes governamentais. Sendo as principais e mais sensíveis.

Taxa de Juros: 7 à 11% a.a

Taxa de inflação da tarifa de energia elétrica: 4 a 7%

Custo do sistema R\$/kWp: 4.200 até 5.400

4. Os benefícios, riscos e conclusões sobre a decisão serão apresentados com objetivo de resumir os motivadores da decisão. Em uma matriz de análise, o texto propõe a reunião de todos os impactos da decisão, e as contingências associadas. Como objetivo de favorecer a racionalidade da escolha, e a facilidade do acompanhamento da execução consolidando premissas e expectativas.

Perguntas de maior relevância, segundo principais agentes do mercado:

a. O modelo de precificação da energia vai se manter?

Atualmente, 2019, está sendo amplamente discutido o modelo econômico do setor elétrico no que tange a tecnologia fotovoltaica. É afirmado por vários representantes das agências reguladoras e parlamentares que usuários da tecnologia utilizam a rede das concessionárias como baterias, isto é, durante o dia utilizam sua própria energia, e a noite, utilizam a concessionária. Além disso, o volume do dia de energia é maior que o consumido, e o crédito compensa o gasto noturno. Isso é possível, pois o preço da energia produzida e consumida é igual, mas segundo representantes do governo isto não deveria ser assim. Afirmar-se que há várias funções no setor e todos devem ser precificadas: transmissão, armazenagem, geração, transformação etc. Quando se utiliza, como os usuários da tecnologia fotovoltaica utilizam, o sistema dessa forma fica evidente um padrão de consumo que induz a pensar que o uso da rede é como de uma bateria. A regulação sobre este aspecto é polêmica, pois controla o próprio comportamento do consumidor.

Outro ponto polêmico, é que os usuários da tecnologia tornam o custo da rede mais alto para os não usuários, como num condomínio. Os custos da rede que antes eram divididos entre todos, agora é por quase todos, no longo prazo, os membros mais ricos da sociedade, que investem na alternativa, se esquivam da participação de contribuição no modelo, o que é lido pelos agentes do governo como injusto e favorece maior desequilíbrio social. Do ponto de vista capitalista, a alta carga tributária de quase 40% do

valor da energia e impostos específicos para indígenas e regiões de precário acesso foi a medida usada para corrigir essa desigualdade. Uma nova medida para punir a inovação tecnológica é contrária aos interesses dos investidores, e também do governo, mas que este último ainda se preocupa com mais variáveis e interesses.

Por um lado, punir os inovadores espanta o capital, que é extremamente necessário, dado o desequilíbrio e falta de recursos federais, por outro sustentar um modelo crescentemente concentrador de capital e sobre taxar os não usuários é contrário ao interesse público de justiça social.

Em outros países, como Austrália, cerca de 30% da energia gerada de forma autônoma é possível ser vendida às concessionárias locais. No Brasil, se estuda a possibilidade de 30 a 80% do valor, para usuários que adotem após a mudança da legislação desse aspecto. É do interesse do governo e dos investidores iniciais, de não haver legislações desfavoráveis aqueles que acreditaram numa nova tecnologia que oferece muitas vantagens para todos.

Para o governo, num modelo de *Funding* a tecnologia crescentemente reduz a necessidade de dívida externa para sustentar o setor elétrico, e dessa forma, para cada real investido, não mais será de 30% (valor fictício) para pagar juros, mas o valor passará a pagar a expansão e manutenção do setor.

Em 2019, grande parte do consumo de capital do setor elétrico é para pagar investimentos e juros de capital externo aportado no país anteriormente, com contratos que garantiram o retorno ao investidor.

Além disso, uma menor solicitação da rede permite que a expansão seja menos agressiva e com menor necessidade de capital no tempo - outro aspecto é que torna a matriz mais barata e resistente para usar as alternativas mais caras na rede, como as termoeletricas.

Por outro lado, a complexidade operacional se torna maior ao administrar mais agentes fornecedores na rede, e que o controle não é total e confiável. Num exemplo simples, se vários usuários numa mesma região forem afetados por uma nuvem grande, a rede é imediatamente solicitada em grande volume, o que torna o tempo de resposta necessário extremamente crítico. Para a figura do Operador Nacional da Matriz de Energia Elétrica, é fundamental que haja resposta e confiança adequados para satisfazer o equilíbrio e funcionalidade do setor.

Para os investidores primários, há maior flexibilidade operacional, melhor eficiência empresarial, ganho midiático, benefício ao meio ambiente, benefício frente aos ambientalistas (capital político) e ganho financeiro associado a uma alternativa confiável (tecnologia) e segura, do ponto de vista técnico.

Para parques e usinas solares, a questão é ainda mais complexa, mas foge do escopo deste texto.

b. Vale a pena esperar a tecnologia ficar mais barata para investir?

Por muitos anos esta era a principal investigação dos investidores, pois com a crescente eficiência e decrescente custo, por vezes um investimento posterior poderia prometer um valor agregado muito maior. Após os primeiros 30 anos da tecnologia, e observando os gráficos introdutórios neste trabalho, é notável que o período de instabilidade já passou, mas ainda há promessas relevantes de agentes de grande credibilidade. A resposta mais clara para isto é, será mais vantajoso no futuro, mas hoje é uma alternativa com VPL positivo em quase todos os casos. Nos próximos 6 anos, em 2025, é uma expectativa realista que os ganhos incrementais serão menores e, portanto, de impacto que não justifique a espera, em outras palavras, a estabilidade da curva.

5. Todo o trabalho foi referenciado por fontes nacionais e internacionais, buscando melhor esclarecer métodos e maneiras de conceber o sistema da maneira mais eficiente possível. Além disso, os principais conceitos que norteiam as propostas estão colocados na referência bibliográfica, afim de esclarecer dúvidas mais profundas.

Todas as fontes utilizadas e racional adjacente para ideias não usuais na literatura foram amplamente discutidos e questionados entre os *stakeholders*, sendo não incluído neste trabalho apenas os *softwares* comerciais mais utilizados e seus motores de cálculo adjacentes, embora todos utilizem os princípios do Manual de Engenharia Fotovoltaico de TAVARES, J. (2014).

O software investigado para obter alguns parâmetros ecológicos, e de eficiência global foi o *PVSyst*.

6. Manuais, relatórios econômicos, notícias, sites, artigos e trabalhos anteriores serão referenciados para sustentar hipóteses e validar afirmações ao longo do texto.

Todas as informações coletadas foram referenciadas em fonte e ano de publicação afim de favorecer transparência e credibilidade. Conjecturas e extrapolações foram feitas, deixando sempre explícito o racional que sustenta cada conclusão e recomendação.

O método consiste em resumir e simplificar as variáveis da equação global da decisão sobre a implementação de um sistema fotovoltaico, e tem como premissa que, precisamente descrevendo os parâmetros de controle, os fornecedores contratados estarão condicionados a fornecer uma solução previsível e efetiva.

Este método, também descreverá particularidades do processo para orientar *stakeholders* adjacentes das necessidades específicas desta disciplina, com intuito de

estimular a execução de pontos de conexão entre disciplinas: Projeto Arquitetônico, Demonstrativos de Fluxo de Caixa, Propostas Comerciais de Serviço, Documentação de Órgãos Governamentais, Diagrama de Gerenciamento do Projeto etc.

Vale ressaltar que as particularidades técnicas e projetos de engenharia não serão contratados, mas a avaliação econômica será executada conforme as propostas obtidas e o conhecimento apresentado neste trabalho.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS CONSOLIDADOS

No que tange aos resultados, serão apresentados o resumo das informações presentes nos orçamentos realizados, em Brasília, no ano de 2019 para a empresa Eurípedes Mendes Centro de Beleza, situada em Taguatinga Norte, Brasília – Distrito Federal, QNA 27 Lote 6, loja 1 – CEP 72110-270.



Figura 46 - Empresa analisada para estudo de caso Fonte: Google Maps (2019)

A empresa é sediada em um prédio de 4 pavimentos, possui um vão central, e duas lajes disponíveis para o sistema, além do topo da caixa d'água. O lote total é de 300 m², e possui uma área útil estimada para o sistema de 90 m²

A região à direita possui 86 m², a região à esquerda 70 m² e a região da caixa d'água possui 35 m². A área total é de 191 m². O imóvel é de propriedade dos donos da empresa em questão, e o uso do espaço será determinado conforme maturidade e atratividade das propostas de uso do espaço.

O padrão de consumo do salão é de 1492,5 kWh/mês, além disso, paga R\$ 118,00 como tarifa mínima para disponibilidade e iluminação pública. Dessa forma, o gasto com energia elétrica é em média, com tarifa à R\$ 0,80/kWh de R\$ 1.312,00 mensais. Para aplicação da estratégia de investimento sugerida, este é o capital máximo disponível para realizar a manobra, ou seja, o valor da dívida contraída e sua parcela somada aos custos adjacentes mensais devem ser iguais ou menores a este valor. Isso para que seja um projeto com maior chance de ser efetivo, embora não seja condicionante ao sucesso da proposta.

A Figura 47 apresenta sucintamente o espaço e a utilidade. O local é de uso comum de 2 empresas, sendo um salão de beleza de 2 andares e uma clínica estética no pavimento acima, dessa forma, para a alternativa ser válida é necessária aprovação do proprietário, e para este caso, apenas o relógio de consumo da empresa do salão é analisado.

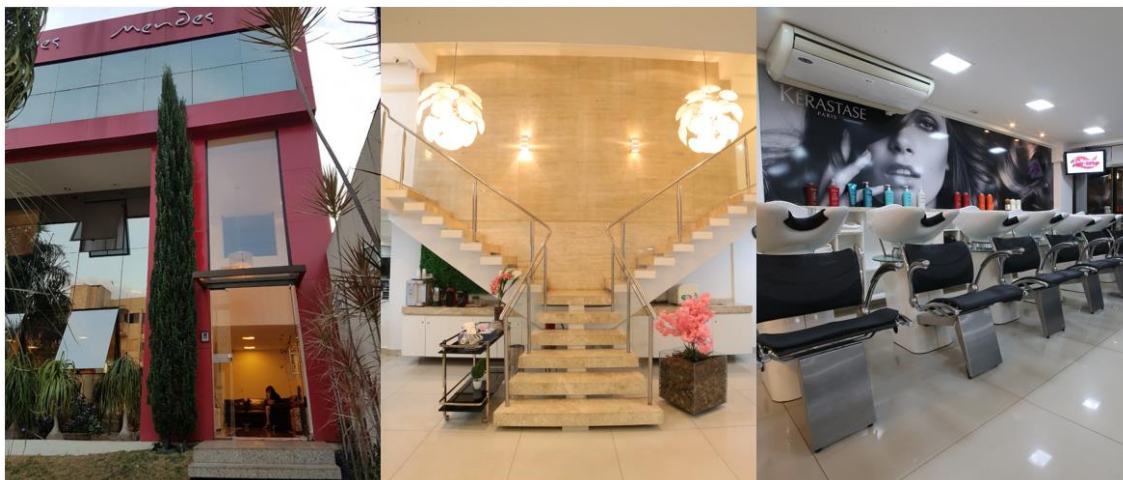


Figura 47 - Eurípedes Mendes Centro de Beleza, salão de beleza de luxo.

Para consolidar os resultados, serão apresentados, conforme a referência deste trabalho, tópico a tópico, buscando esclarecer ao máximo a possibilidade da oferta da tecnologia e seus fornecedores.

4.1 Custo de Oportunidade – Aquisição, Instalação, Manutenção e *Funding*

4.1.1 AQUISIÇÃO

Nas propostas sondadas neste estudo de caso fica consolidado um preço médio por kWp de R\$ 4.264,39 para um sistema de aproximadamente 12,60 kWp. Para consolidação do valor para o presente estudo de caso:

$$SFCR \times Custo \left(\frac{R\$}{kWp} \right) = 12,6 \times 4.264,39 = R\$ 53.731,31$$

Equação 6 - Custo do sistema, orçado em mercado (2019)

Este sistema, gera em torno de 1500,33 kWh por mês, para o padrão de irradiação da região, e sendo efetivo sem os sombreamentos e ineficiências é capaz de produzir um total de energia superior à demanda de 1.492,5 kWh por mês. Além disso, para execução dos cálculos e projeções é adicionado o valor de R\$ 118,00 pelo custo de disponibilidade e contribuição sobre iluminação pública. Todos os cálculos monetários estão incluindo impostos, conforme apresentado na fatura e no texto, cerca de 39,8% da fatura.

A área para este sistema, é estimada em 88,2 m², um valor inferior ao disponível, embora seja necessário ainda avaliar as ineficiência e peculiaridades do espaço.

Já o peso, para cálculo da solicitação deste sistema, é de 1.071 kg no total, cerca de 12,14 kgf/m², carga menor que a calculada para uma laja com acesso livre.

Observando os padrões de preços estudados, para este valor de sistema será admitido como 21% o valor dos inversores, que serão substituídos no 13º ano de operação do sistema. Esse valor é de R\$ 11.283,58 no ano zero.

4.1.2 INSTALAÇÃO

Conforme apresentado anteriormente, fica estabelecida a orientação sobre os preços máximos da mão de obra de instalação do sistema, incluindo o aspecto físico quanto o aspecto intelectual – projetos, aprovações, preenchimento de formulários das concessionárias e revisão técnica e burocrática. Para este preço de sistema a expectativa máxima é 14% do custo, ou seja, R\$ 7.522,34. No caso dos orçamentos feitos, a média foi de 10% do valor, em R\$ 5.371,31.

4.1.3 MANUTENÇÃO

É adicionado um custo anual de manutenção, visitas semestrais, para manutenção do sistema. Na Figura 48, estão descritas as tarefas e periodicidade necessários. Neste ponto, é importante destacar que uma das maiores vantagens dessa alternativa é a baixíssima necessidade de manutenção.

O custo destas visitas foi precificado um técnico, em uma visita de 3h, com custo total de R\$ 250,00 por visita, totalizando R\$ 500,00 por ano, no valor do ano zero.

Plano de Manutenção Sistemas Fotovoltaicos		
Elemento	Ações a realizar	Periodicidade
Cabeamento	Revisão do estado do cabeamento. Inspeção das ligações e terminais. Análise do cabeamento de proteção à terra.	6 meses
Estado dos módulos e estruturas	Inspeção visual buscando módulos quebrados, <i>Hot Spot's</i> ou células oxidadas. Limpeza e verificação da presença de danos que afetem a segurança e proteções. Revisão de danos na estrutura de suporte. Verificação do estado de deterioração devido aos agentes ambientais.	6 meses
Inversores	Análise do estado de funcionamento. Estado dos indicadores luminosos/visor e alarmes. Verificação da temperatura ambiente.	6 meses
Equipamentos de segurança e proteção	Verificação dos terminais, quadros, eletrodutos e eletrocalhas. Teste do funcionamento dos interruptores de corte. Verificação do estado dos fusíveis.	6 meses

Figura 48 - Manual de Operação e Manutenção. Fonte: BlueSol, 2015

4.1.4 FUNDING

Para o investimento do aporte inicial, esta simulação contrata uma linha de crédito, via bancos ou terceiros à uma taxa de juros anual de 8% a.a, observando o limite máximo de 11% a.a. Esse valor foi adotado observando linhas de crédito dedicadas a fomentar essa tecnologia e outras disponíveis no mercado para empresários da categoria da empresa em análise. Além disso, para proteger o dono do capital, dois novos itens precisam ser precificados.

1. Seguro contra danos elétricos, para patrimônio de até R\$ 75.000, que na Porto Seguros, intermediada pelo banco Itaú, ofereceu o serviço por R\$ 186,95 por ano, com o IOF de 7,34% incluso.
2. Fundo Garantidor de Crédito, para resguardar o capital, no valor de 0,93% do capital líquido investido na data zero. No valor de R\$ 500,00 por ano.

Além destes, o credor do capital ainda conta com o sistema adquirido como um bem tangível de garantia pelo seu capital até o término da dívida.

Finalmente, o horizonte temporal estabelecido, para que o fluxo de caixa fosse próximo de zero, foi de 72 meses, com parcelas iguais. Ou seja, o principal tem valor de R\$ 53.731,31 e os juros correntes após 72 meses de R\$ 31.533,53. Dessa forma, a parcela da dívida se consolida em R\$ 1.184,23 mensais.

4.2 A Irradiação Solar

As leituras, providas dos programas RadiaSol, da coleta do SunData, NASA, Google Plataform e da leitura de clientes regionais dos fornecedores caracterizaram o local deste estudo de caso. O importante a observar é a concordância com os atlas solarimétricos apresentados e os dados do SunData, por apresentarem maior confiabilidade histórica. Na tabela 5, apresenta-se os dados de geração de energia do primeiro ano do sistema proposto de 12,6 kWp, incluindo uma perda 30% por diagramação não otimizada, eficiência das placas, eficiência dos inversores, eficiência dos dispositivos de transmissão e ruídos.

É importante ressaltar que a variável norteadora nesta análise é o HSP, pois ele engloba as variações climáticas e de latitude do local, além disso, para os ciclos anuais, também é considerado as estações do ano, ciclos de noite e dia não padrão e anomalias climáticas detectáveis dentro do espectro de 30 anos.

Finalmente, a leitura para determinar a disponibilidade no estudo de caso foi feita para 20° em relação à horizontal, embora as placas sejam solicitadas a ficar com 16° no estado ótimo e 30° para o arranjo proposto, o potencial foi estimado pelas leituras disponíveis.

Mês		HSP (kWh/m ² /dia)	Geração (kWh)
1	31	5,13	1359,66
2	28	5,25	1255,97
3	31	5,38	1424,02
4	30	5,66	1448,83
5	31	6,03	1593,93
6	30	6,19	1582,38
7	31	6,55	1729,07
8	31	6,76	1783,31
9	30	6,46	1648,09
10	31	5,84	1538,54
11	30	5,22	1329,95
12	31	4,98	1310,22

Tabela 5 - A Irradiação Solar Disponível

Com base nestas informações, que, aplicando-se o valor das tarifas a cada período, se obtêm o crédito, ou valor monetário equivalente à economia. É preciso considerar que o crédito não é convertido em valor, mas permite consumos maiores nos próximos meses, ou o débito dentro de um mês faz a fatura vir normalmente, mas como se o usuário tivesse consumido muito pouco.

O estudo feito dessa maneira sugere uma falha do modelo para este caso, pois o valor gerado não pode ser vendido dessa maneira, e em verdade é consumido mensalmente. O que demonstra que embora seja um método útil para estimar o valor gerado, não descreve para este caso o ganho, mas a economia.

Isso sugere que um modelo de gestão de custos seria mais apropriado para descrever a oportunidade de se instalar esse sistema em uma capacidade funcional de investimento, não de alocação de capital.

4.3 Arranjos, Inclinação e espaçamentos

Ao observar a tabela da Figura 34, fica estabelecida recomendação técnica sobre a inclinação em relação à horizontal para um sistema estático, de 16° em relação à horizontal.

O espaço apresenta duas dificuldades principais, a caixa d'água gera sombreamentos em aproximadamente 15% da área direita (12,9 m²) e 25% da área esquerda (17,5m²). O outro ponto é que as muretas de proteção são altas e geram sombras, para a instalação eficiente do sistema será necessário demolir as proteções e limitar o acesso, afim de evitar risco de queda.

Na Figura 18, foram apresentados os parâmetros e método de cálculo para o caso simulado. Neste exemplo, para a situação analisada propõe-se que os módulos sigam instruções próximas às apresentadas na Figura 49. As simulações computacionais

apontam o ângulo de incidência no solstício de verão na ordem de $25,5^\circ$, e sendo essa a informação crítica, obtém-se para um conjunto de dados, possíveis arranjos livres do risco de sombreamento entre painéis. Na análise de obstáculos adjacentes, nenhum prédio ou obstáculo tem possibilidade de afetar a área dedicada ao sistema.

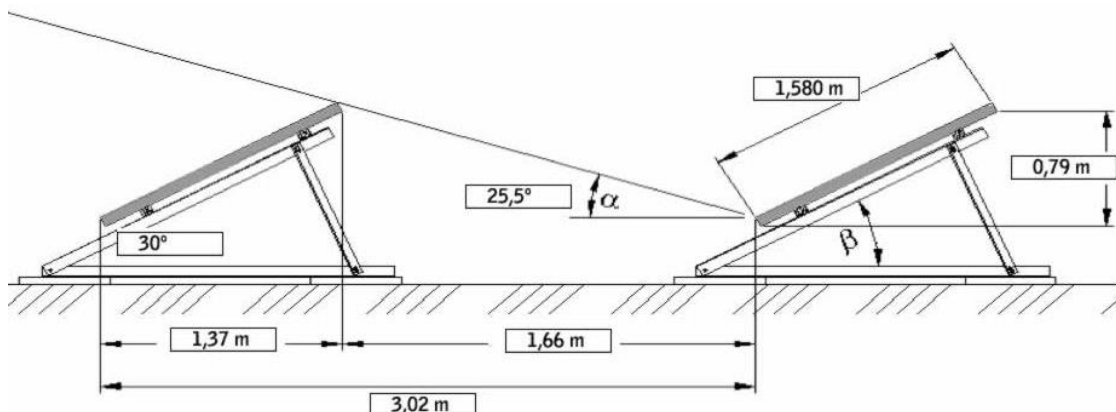


Figura 49 - Disposição dos Módulos – Acervo Pessoal

O racional para as recomendações está na junção de várias análises com todos os tópicos mencionados: adição de módulos adicionais, ainda que em condições não otimizadas gera maior valor absoluto, inclinação maiores que a ideal favorece o uso mais eficiente do espaço, intervalos menores entre placas podem apresentar sombreamento debilitante, embora ineficiente mais placas compensam a perda destas debilitações. Por fim, o uso de placas de 1,6m de altura, em simulações preliminares demonstrou maior potencial absoluto de geração quando comparado com placas de 1,99m.

O espaçamento horizontal de painéis é de apenas 2cm, para evitar vibrações e prisão de pequenos coloides trazidos pelo vento. A estrutura de suporte dos módulos é de alumínio e ferro-carbono, e tem esquemas de ajuste de inclinação inteligentes para ajuste manual se necessário. Admitindo uma rotina inteligente mensal, é possível explorar o potencial de cerca de 10% perdido por inclinações não otimizadas, embora apenas após 2 anos de operação seja possível traçar inclinações mensais ótimas para os aspectos intrínsecos de sombreamento do local.

4.4 Perda de eficiência dos painéis

A degradação dos módulos, como sugerem os fabricantes dos painéis, é de que após 25 anos estarão operando com pelo menos 80% da eficiência original, daí $\frac{20\%}{12 \times 25} = 0,067\%$.

Esse princípio permite incluir na análise um grau extra de especificidade, e em análises mais profundas estimar o impacto desta variável no total. Vale ressaltar que as

variáveis mais sensíveis para projetos com horizonte temporal tão alto são aquelas recorrentes todos os meses, e esta, é uma delas.

4.5 Influência da Temperatura e do Clima

No tocante a este aspecto, para o clima de Brasília, na Figura 50 estão diagramadas as medições de temperatura de 1961 a 1990, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

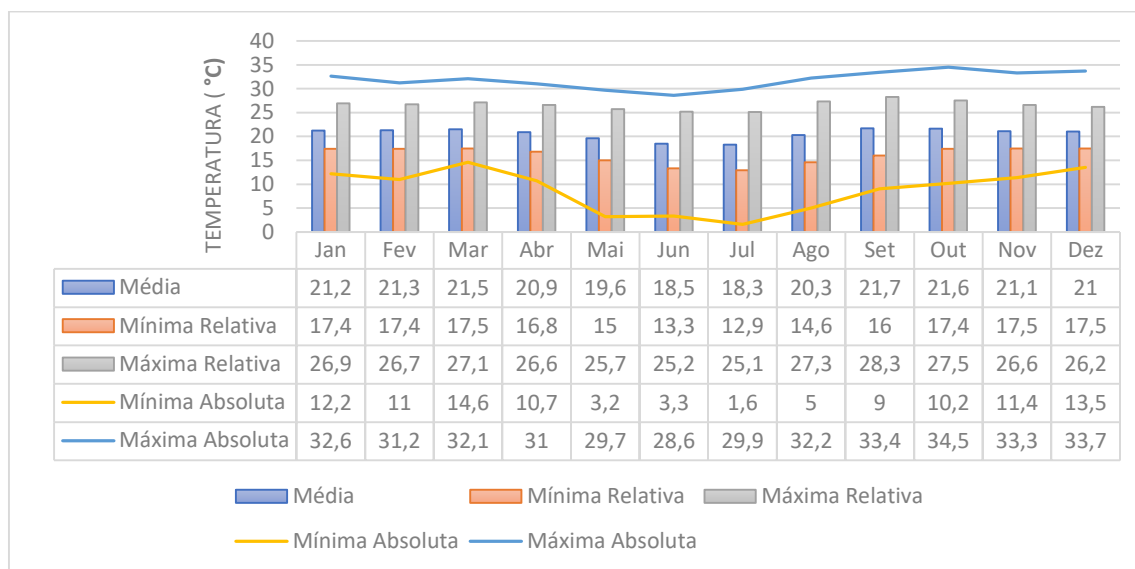


Figura 50 - Estudo da temperatura ambiente de Brasília, DF 1961-1990 Fonte dos dados: INMET

Ao se analisar as informações do item 2.2.7, toma-se conhecimento que a região é altamente propícia para se projetar sistemas baseados em tecnologia fotovoltaica de silício, pois os registros históricos apontam máxima média de 26,6°C e mínima de 16,1°C, com uma média compensada histórica de 20,6°C, conforme diagramado na Figura 40.

Situação favorável às especificações técnicas no tocante a este tópico, e de modo que amplia a capacidade de geração de energia da tecnologia. No tocante às máximas, a perda de eficiência mais relevante ocorre nos meses finais de cada ano, a um valor máximo absoluto de aproximadamente 3,9%.

$$T_{Nov}(^{\circ}C) = 34,5 - 25 = 9,5 \times 0,41\% = 3,895\%$$

Um ponto a se considerar, é o sistema de proteção contra curtos circuitos, dentro dos limites históricos do local. Afinal, para o mínimo absoluto a corrente de curto circuito para este exemplo pode elevar a corrente máxima em até 1,17%.

$$T_{Jul}(^{\circ}C) = 1,6 - 25 = -23,4 \times 0,05\% = -1,170\%$$

Ao analisar estes aspectos, e utilizando os dados do exemplo exposto na referência deste texto, fica claro que a viabilidade técnica é viável e em condições próximas às ideais.

Numa análise de sensibilidade aprofundada, ao inserir as perdas e ganhos provenientes das variações de temperatura na análise mensal de conversão do potencial solar e da energia líquida convertida se observa que a ordem de grandeza do impacto dessa variável é altíssima, observando a sensibilidade do VPL.

Isso indica, que a seleção do local e a susceptibilidade climática é um fator de grande relevância, embora nenhum fornecedor comercial aprofunde análises de investimento tão especificamente.

A Tabela 6, ao apresentar o cálculo do impacto da temperatura ambiente, utilizando-se as médias históricas e a temperatura de laboratório (TL), demonstra que há ganho médio de 1,81% de eficiência de conversão, o que significa um ganho na ordem de 10% da eficiência de módulos comercializados. Em termos de valor, é um ganho de 10% adicional (Exemplo: Uma economia de R\$ 1.000,00 se torna de R\$ 1.100,00).

Tabela 6 - Impacto da temperatura na eficiência do SFCR

Mês	Temperatura	Diferença TL	Eficiência Líquida
1	21,2 °C	-3,8 °C	1,56%
2	21,3 °C	-3,7 °C	1,52%
3	21,5 °C	-3,5 °C	1,44%
4	20,9 °C	-4,1 °C	1,68%
5	19,6 °C	-5,4 °C	2,21%
6	18,5 °C	-6,5 °C	2,67%
7	18,3 °C	-6,7 °C	2,75%
8	20,3 °C	-4,7 °C	1,93%
9	21,7 °C	-3,3 °C	1,35%
10	21,6 °C	-3,4 °C	1,39%
11	21,1 °C	-3,9 °C	1,60%
12	21,0 °C	-4,0 °C	1,64%
Médias	20,6 °C	-4,4 °C	1,81%

4.6 Inflação da Tarifa de Energia Elétrica

Na Tabela 7, está resumido os dados da inflação tarifária de 2004 a 2018, e assim demonstrado o histórico de evolução de preços da tarifa de energia elétrica. Dessa forma, para análise das propostas e estudo no caso presente, foi admitido a média do período no horizonte de 15 anos, na qual inclui flutuações da economia, intervenções governamentais e eventos de interesse e relevância.

Tabela 7 - Inflação Histórica Tarifária da Energia Elétrica. Fonte: BACEN

Ano	Reajuste Tarifário
2018	6,50%
2018*	8,81%
2017	8,46%
2016	3,42%
2015	18,66%
2015*	24,15%
2014	17,12%
2013	7,64%
2012	2,78%
2011	8,15%
2010	10,79%
2009	9,52%
2008	-7,30%
2007	-3,22%
2006	-1,59%
2005	1,23%
2004	2,44%

A média de reajuste neste horizonte temporal é de 6,92%, já ajustado para os valores finais de 2015 e 2018. Dessa forma, um dos motivos para se investir nesta alternativa é se resguardar contra movimentos políticos e instabilidade legislativa e jurídica, que repercutem nos ministérios associados.

Em termos globais, uma simulação considerando a inflação da tarifa de energia, e outra considerando esta inexistente, o impacto é da ordem 40% (A saber $1+6,92\%$)⁵ nos primeiros 5 anos, sendo isto favorável ao investidor.

Seria razoável admitir 6,92% de inflação da tarifa numa análise otimista, para o investidor, da projeção. Afinal, mesmo em um longo horizonte temporal (15 anos) o valor é alto. Na hipótese de o país não desenvolver o setor de forma bem-sucedida seria coerente admitir essa taxa, mas ao se considerar investimentos com tempo tão longo é preciso assumir premissas incertas e complexas. Neste caso, para esta análise, se supõe uma evolução do setor e consequentemente taxas de reajuste mais baixas no longo prazo.

Para uma leitura madura deste projeto, foi admitido como 3,9% anual de inflação da tarifa, isso obtido de um filtro dos dados históricos quando houve baixa interferência regulatória e ausência de eventos políticos desviante da “lei de mercado”. Além disso, assumindo evolução da administração pública e condições mais estáveis para o país no longo prazo, é realista adotar valores mais baixos.

A Figura 51 deixa descrito o comportamento do preço da tarifa, em ajustes anuais, e compara ao custo de geração do sistema instalado. O custo inicia no ano 0 em R\$ 0,80/kWh e evolui a 3,9% a.a até o ano 25, em contrapartida, o custo de geração do sistema é de R\$ 0,27/kWh² até o último ano³ (Embora não seja tão estático, pela perda de eficiência de 20% após 25 anos).

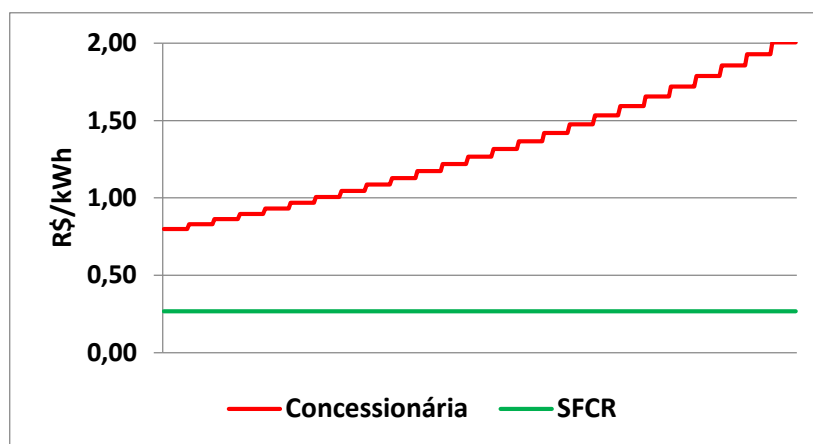


Figura 51 - Ajuste Anual da Tarifa de Energia Elétrica

4.7 Depreciação Acelerada do Ativo Tangível

Finalmente, o valor de depreciação hipotético é de pelo menos 80% do valor original dos módulos e de 60% dos inversores, sendo os módulos admitidos com vida útil de 30 anos e os inversores de 15.

Devido à natureza inovadora da tecnologia atualmente, não há legislação específica para cálculo de depreciação acelerada, sendo este um risco regulatório.

Adotando depreciação linear para os valores de 40% dos módulos e 20% dos inversores, o benefício fiscal para um prazo de 10 anos para os painéis e 5 anos para os inversores (Depreciação acelerada), seria da ordem de R\$ 30 mil nesse tempo, que em verdade se traduz apenas num atraso para pagamento de impostos, pois o valor da depreciação é descontado no montante de lucro tributável no prazo inicial de forma mais significativa, e, terminado este prazo, o benefício se encerra e os impostos incidem completamente durante prazo natural de depreciação.

Durante o período que o benefício é válido, o valor da depreciação se torna capital líquido, que pode ser alocado em alternativas de médio prazo para render juros e configurar ganho real de valor. O período adequado desse investimento é o tempo de encerramento da depreciação acelerada.

² O custo de geração da energia pelo sistema leva em conta HSP, inflação IPCA e custo por kWp. A fórmula é demasiadamente complexa, mas está discriminada no anexo 1 deste trabalho.

³ Admitindo um aumento linear dos preços para 1,2x após 25 anos, o custo saltaria para R\$ 0,33/kWh.

Para este exemplo, o sistema custa no total R\$ 53.731,31, sendo o custo dos painéis R\$ 42.447,74. A depreciação natural é de R\$ 70,75 mensais por 30 anos, até o valor de 40% do valor do ano zero dos painéis no ano 30. Optando pela aceleração de depreciação para 10 anos, o valor sobe para R\$ 212,24 mensal, ou seja, R\$ 2.546,86 por ano. Os valores serão investidos, preferencialmente em títulos públicos com prazo decrescente a cada ano iniciando em 9 anos.

O racional é análogo para os inversores. O custo inicial é de R\$ 11.283,58, será depreciado no ano 15 para 20% do valor, resultando R\$ 2.256,72. A depreciação mensal é de R\$ 50,15 e sobe para R\$ 150,45 quando acelerada a depreciação para 5 anos. Anualmente o valor é de R\$ 1.805,37. Os valores serão investidos, preferencialmente em títulos públicos com prazo decrescente a cada ano iniciando em 4 anos. Uma observação adicional neste ponto, é que na vida útil do sistema há duas vidas úteis de inversores.

Tabela 8 - Depreciação Acelerada do Ativo Tangível

Ano	Painéis fotovoltaicos		Inversores	
1	2.546,86	0,00	3.610,74	0,00
2	2.546,86	5.284,73	3.610,74	7.492,29
3	2.546,86	8.227,95	3.610,74	11.664,95
4	2.546,86	11.391,91	3.610,74	16.150,56
5	2.546,86	14.793,16	14.442,96	1.707,60
6	2.546,86	18.449,51	Observação	
7	2.546,86	22.380,08	Após o período, o valor de depreciação natural não poderá ser deduzido do lucro tributável da operação	
8	2.546,86	26.605,44		
9	2.546,86	31.147,71		
Total	22.921,74	8.225,97		

Dessa forma, o projeto também atua como uma forma de elisão fiscal por prazo determinado e para um alocador de capital competente, permite ganho do valor no tempo. Neste exemplo, foi aplicada uma taxa de juros de 7,5% a.a buscando espelhar títulos do tesouro nacional em prazos definidos, até 9 anos.

4.8 Incentivo sobre IPTU

Conforme apresentado no item 2.3.4, há incentivo real por parte do governo sobre o imposto territorial, e aplicada a fórmula do incentivo, observando os valores reais e a área utilizada para funcionamento do sistema, o valor total do incentivo, no horizonte de tempo anual, foi de R\$ 1.920.

A área do sistema, diagramada estrategicamente para cobrir a maior área possível, mesmo para um sistema teoricamente menor, ocupa 191m². A área total tributada é de 483,61 m², com IPTU de R\$ 6.074,20, com isso o custo unitário é de R\$ 12,56/m². Dessa forma, o custo de R\$ 12,56/m² x 191 m² é de R\$ 2.398,96 x 80% = R\$ 1.919,16 de

benefício sobre o IPTU aplicado anualmente. Que somado a análise do investimento, e analisando o fluxo de caixa de uma pequena empresa, possibilita economia ou contratação de mais funcionários etc., favorecendo a eficiência da empresa.

4.9 Fluxo de Caixa, VPL, Aplicação e *Payback*

No tópico 2.3.5 foi descrito as considerações deste estudo. Nesta seção são apresentados: o gráfico ofertado por fornecedores de mercado, e a análise independente, apenas utilizando as informações obtidas nos orçamentos.

A Figura 52 e 53, apresenta o fluxo de caixa de um fornecedor real, para o caso em estudo, e embora premissas diferentes foram utilizadas, sendo elas: custo do inversor (R\$ 8.828,59) trazido a valor presente, taxa de inflação (7%), TMA de 10%, inflação na perpetuidade da tarifa (8%;6,5%;5%; 4,5% e 4% na perpetuidade) e preço inicial da tarifa R\$ 0,73.

Este exemplo, tem por intuito esclarecer o modelo utilizado para apresentar, no mercado, a alternativa tecnológica, além disso, resumir as principais variáveis sob controle dos fornecedores, sendo fundamental compreender as premissas utilizadas para construir o fluxo de caixa e posteriormente o VPL. Outro ponto de interesse é que conhecendo as margens de cada agente envolvido na transação comercial, é possível negociar de forma mais agressiva para defender os interesses do empreendedor.

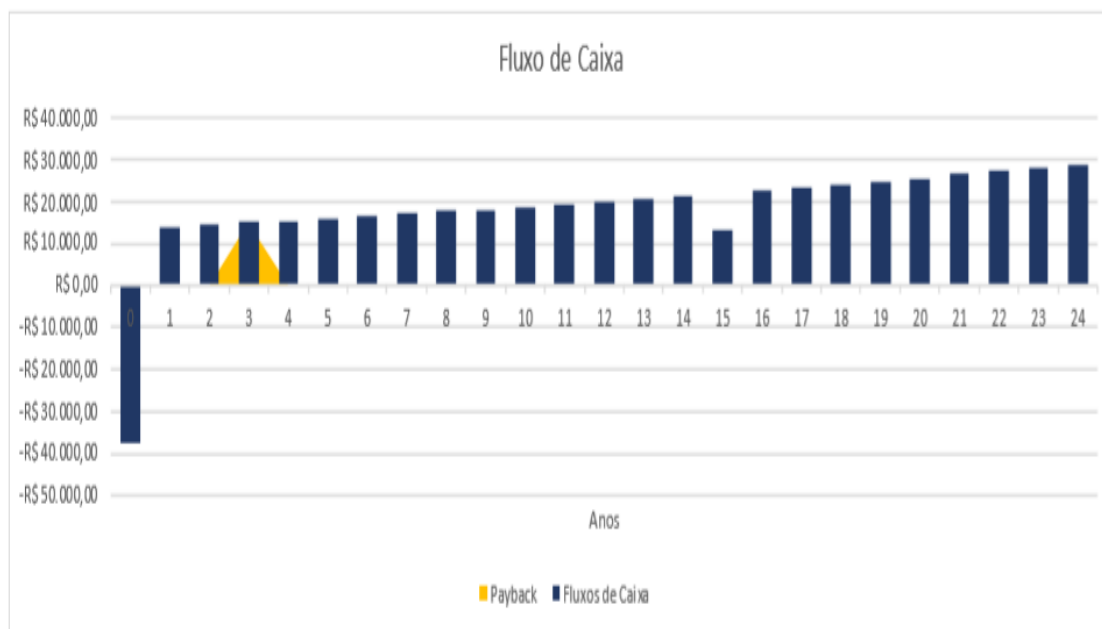


Figura 52 - Representação gráfica do fluxo de caixa

Ano	Tarifa	Energia Gerada	Custos Totais	Economia	Resultado	Somatória
0	R\$ 0,73	17790,5 kWh	-R\$ 50.246,74	R\$ 12.922,34	-R\$ 37.324,39	-R\$ 37.324,39
1	R\$ 0,78	17666,0 kWh	-R\$ 267,48	R\$ 13.858,44	R\$ 13.590,95	-R\$ 23.733,44
2	R\$ 0,84	17542,3 kWh	-R\$ 286,21	R\$ 14.655,92	R\$ 14.369,71	-R\$ 9.363,73
3	R\$ 0,88	17419,5 kWh	-R\$ 306,24	R\$ 15.281,00	R\$ 14.974,75	R\$ 5.611,03
4	R\$ 0,92	17297,6 kWh	-R\$ 327,68	R\$ 15.856,86	R\$ 15.529,18	R\$ 21.140,21
5	R\$ 0,95	17176,5 kWh	-R\$ 350,62	R\$ 16.375,70	R\$ 16.025,08	R\$ 37.165,29
6	R\$ 0,99	17056,2 kWh	-R\$ 375,16	R\$ 16.911,51	R\$ 16.536,35	R\$ 53.701,64
7	R\$ 1,03	16936,8 kWh	-R\$ 401,42	R\$ 17.464,85	R\$ 17.063,43	R\$ 70.765,07
8	R\$ 1,07	16818,3 kWh	-R\$ 429,52	R\$ 18.036,30	R\$ 17.606,78	R\$ 88.371,86
9	R\$ 1,12	16700,6 kWh	-R\$ 459,58	R\$ 18.626,45	R\$ 18.166,87	R\$ 106.538,73
10	R\$ 1,16	16583,7 kWh	-R\$ 491,76	R\$ 19.235,91	R\$ 18.744,15	R\$ 125.282,88
11	R\$ 1,21	16467,6 kWh	-R\$ 526,18	R\$ 19.865,31	R\$ 19.339,13	R\$ 144.622,01
12	R\$ 1,25	16352,3 kWh	-R\$ 563,01	R\$ 20.515,30	R\$ 19.952,29	R\$ 164.574,29
13	R\$ 1,30	16237,8 kWh	-R\$ 602,42	R\$ 21.186,56	R\$ 20.584,14	R\$ 185.158,43
14	R\$ 1,36	16124,2 kWh	-R\$ 644,59	R\$ 21.879,79	R\$ 21.235,19	R\$ 206.393,63
15	R\$ 1,41	16011,3 kWh	-R\$ 9.518,59	R\$ 22.595,69	R\$ 13.077,10	R\$ 219.470,73
16	R\$ 1,47	15899,2 kWh	-R\$ 737,99	R\$ 23.335,02	R\$ 22.597,03	R\$ 242.067,76
17	R\$ 1,53	15787,9 kWh	-R\$ 789,65	R\$ 24.098,54	R\$ 23.308,89	R\$ 265.376,65
18	R\$ 1,59	15677,4 kWh	-R\$ 844,93	R\$ 24.887,05	R\$ 24.042,12	R\$ 289.418,77
19	R\$ 1,65	15567,7 kWh	-R\$ 904,07	R\$ 25.701,35	R\$ 24.797,28	R\$ 314.216,05
20	R\$ 1,72	15458,7 kWh	-R\$ 967,36	R\$ 26.542,30	R\$ 25.574,94	R\$ 339.790,99
21	R\$ 1,79	15350,5 kWh	-R\$ 1.035,07	R\$ 27.410,77	R\$ 26.375,69	R\$ 366.166,68
22	R\$ 1,86	15243,0 kWh	-R\$ 1.107,53	R\$ 28.307,65	R\$ 27.200,12	R\$ 393.366,80
23	R\$ 1,93	15136,3 kWh	-R\$ 1.185,06	R\$ 29.233,87	R\$ 28.048,82	R\$ 421.415,62
24	R\$ 2,01	15030,4 kWh	-R\$ 1.268,01	R\$ 30.190,40	R\$ 28.922,39	R\$ 450.338,01

Figura 53 - Fluxo de caixa de orçamento comercial

A Figura 52, tem por objetivo demonstrar isoladamente o comportamento do caixa apenas do sistema ao longo do tempo, e já aplicada a fórmula do *Payback*, é possível identificar o tempo de retorno do investimento, em termos de valor, mas não de caixa. É importante ressaltar que essa visão considera o caixa disponível para o aporte inicial, com um custo de 10% WACC⁴, ou Taxa Mínima de Atratividade de 10%.

É necessário que os investidores se atentem não somente ao sistema, mas também: dívida e juros, no caso de financiamento; seguros; fundo garantidor de crédito; depreciação acelerada do ativo, caso opte pelo regime de lucro real e busque maximizar eficiência tributária; uso dos juros da dívida pelo motivo de eficiência tributária.

Para a análise do estudo de caso, fica demonstrado na Figuras 54 e na Tabela 9, a viabilidade realista para a empresa estudada. Para esclarecimento das colunas:

1. A tarifa evolui anualmente a uma taxa de inflação de 3,9%;
2. A energia produzida foi determinada no ano pelo tamanho do sistema 12,6 kWp e das características técnicas ambientais e tecnológicas, após isso, foi corrigida por perda de eficiência dos módulos em 0,067% ao ano e multiplicado por 97,02% pela perda do inversor (e=98%) e dos dispositivos elétricos (e=99%). Para outras ineficiências, foi alocado uma perda de 30% no total.

⁴ WACC ou Weighted Average Capital Cost (Custo Médio Ponderado do Capital): Essa taxa indica o nível de atratividade mínima do investimento, ou seja, ele é o retorno que você esperaria ter em outros investimentos mais seguros que o atual.

3. O cenário 1 adota o financiamento à 8% a.a do BNDS ou credores equivalentes com parcelas iguais no horizonte de 6 anos, ou 72 meses, benefício do IPTU, custos do seguro contra danos elétricos, manutenção semestral, proteção do crédito do credor do capital e custo mínimo para concessionária (iluminação pública).
4. O cenário 2 adota as mesmas premissas do primeiro, mas assume a consolidação do risco regulatório e aplica uma redução no valor gerado mensalmente de 42,9%, um valor hipotético na qual foi calculado para zerar o VPL da alternativa, alterando apenas o *input* da redução do valor gerado.

O VPL, está representado nas equações, para maiores esclarecimentos o anexo deste trabalho inclui detalhadamente a obtenção dos valores declarados. O fluxo de caixa foi descontado mensalmente admite uma taxa de desconto anual de 10% como TMA, e verificado pela fórmula (=VLP(10%;FC Anual)) do Excel 2016 Professional.

$$VPL_1 = \frac{\sum(GD_a - Custos_a)}{(1 + 10\%)^{25}} = R\$ 74.911,79$$

$$VPL_2 = \frac{\sum(0,571GD_a - Custos_a)}{(1 + 10\%)^{25}} = -R\$ 228,24$$

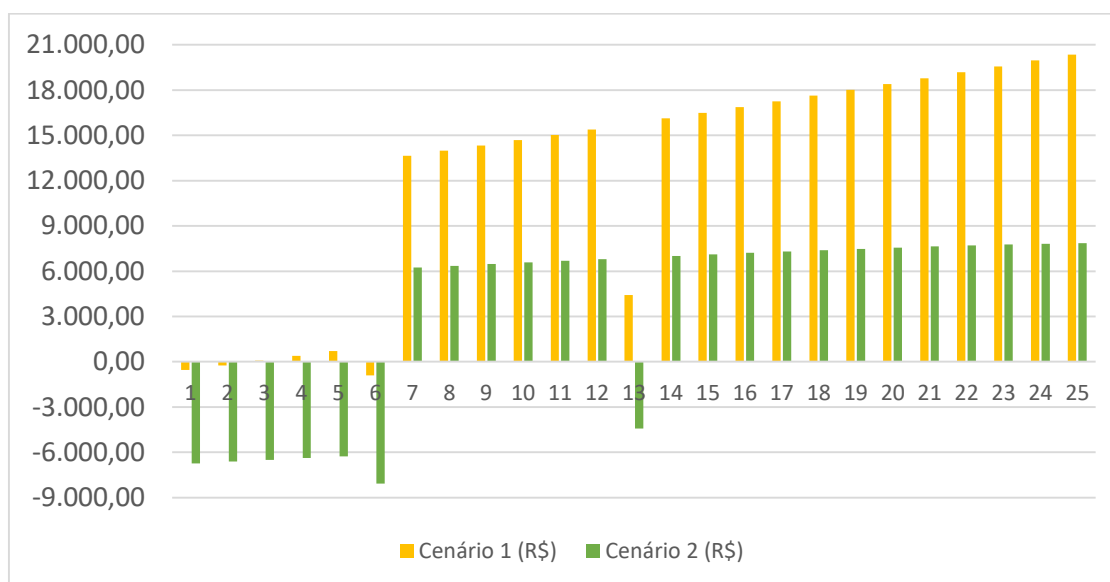


Figura 54 - Fluxo de Caixa - Cenários 1 e 2

Diante do aspecto do fluxo de caixa, se torna possível afirmar para propor ao empreendedor, que com baixíssimo investimento, no horizonte anual, é possível gerar patrimônio, eficiência tributária, economia e valor no longo prazo. Além disso, a dívida está garantida pelo FGC, o ativo é tangível e se torna garantia também. Por fim, o ativo é segurado e inclui no projeto toda assistência de instalação e manutenção.

Ao observar o fluxo de caixa do projeto, quando se financia o capital necessário para o aporte, percebe-se grande diferença no comportamento do gráfico demonstrado por fornecedores tradicionais. Não há grande investimento inicial, e o fluxo é razoavelmente estável e consistente. Isso demonstra que é crítico o entendimento dos riscos e premissas principais: o cenário 2 ilustra o risco regulatório, a taxa de inflação da tarifa tem impacto enorme na análise, e, finalmente: o maior risco é o de ruína do empreendedor, para todos os *stakeholders*.

Ano	Tarifa (R\$)	Energia (kWh)	Cenário 1 (R\$)	Cenário 2 (R\$)	Observação relevante		
1	0,80	18.004,0	-553,60	-6.737,59	Seguro contra Danos Elétricos (Porto Seguros); Manutenção semestral de técnicos; Fundo Garantidor de Crédito (1% do Capital Líquido); Perda de 0,067% de eficiência das placas fotovoltaicas	Financiamento BNDS à 8% de juros anual	Benefício do IPTU (-80% sobre área alocada)
2	0,83	17.859,3	-247,69	-6.621,23			-
3	0,86	17.714,6	63,87	-6.504,59		-	-
4	0,90	17.570,0	381,05	-6.387,85		-	-
5	0,93	17.425,3	703,78	-6.271,19		-	-
6	0,97	17.280,6	-895,92	-8.082,76		-	-
7	1,01	17.136,0	13.648,51	6.243,89		Troca do Inversor R\$ 11.284 (Ano 0)	
8	1,05	16.991,3	13.987,43	6.358,99		-	-
9	1,09	16.846,6	14.331,54	6.473,07		-	-
10	1,13	16.702,0	14.680,70	6.585,86		-	-
11	1,17	16.557,3	15.034,75	6.697,06		-	-
12	1,22	16.412,6	15.393,51	6.806,35		-	-
13	1,27	16.268,0	4.426,61	-4.416,80		-	-
14	1,32	16.123,3	16.124,36	7.017,76		-	-
15	1,37	15.978,6	16.495,98	7.119,11		-	-
16	1,42	15.834,0	16.871,36	7.217,00		-	-
17	1,48	15.689,3	17.250,19	7.310,96		-	-
18	1,53	15.544,6	17.632,15	7.400,51		-	-
19	1,59	15.400,0	18.016,85	7.485,11		-	-
20	1,65	15.255,3	18.403,89	7.564,21		-	-
21	1,72	15.110,6	18.792,83	7.637,20		-	-
22	1,79	14.966,0	19.183,17	7.703,44		-	-
23	1,86	14.821,3	19.574,40	7.762,25		-	-
24	1,93	14.676,6	19.965,93	7.812,90		-	-
25	2,00	14.532,0	20.357,13	7.854,60		-	-

Tabela 9 - Fluxo de Caixa Anual - Eurípedes Mendes Centro de Beleza

Dentro da matriz de riscos para cada entidade do projeto é preciso compreender profundamente as consequências de cada concessão e de cada decisão, afinal, apenas compreendendo bem os riscos a que se submetem, as entidades podem precificar o valor de seu compromisso.

Neste fluxo de caixa não foi admitido que no ano 25 o sistema foi vendido pelo valor depreciado, tampouco os valores de depreciação foram computados anualmente. Os cálculos foram feitos separadamente, pois a realidade tributária depende da operação.

O valor economizado no longo prazo, ao se tornar lucro real, pode ser alocado, em alternativas equivalentes de investimento que disputam com este projeto, para gerar juros da mesma forma que no ano zero, porém, havendo aportes mensais de 66% (Lucro tributável sendo aplicada alíquota de 34%) do valor gerado pela economia e rendendo 75% da opção primária do ano zero (No caso 75% de 10% do TMA = 7,5% a.a⁵) pode-se comparar o desempenho do sistema também, como demonstrado na Figura 61.

Esse movimento, tem por objetivo demonstrar uma “variável secreta” do projeto, pois ao alocar o caixa gerado via economia, após 6 anos de financiamento, soma-se o VLP do investimento por 19 anos, o que naturalmente torna muito difícil competir na premissa original – embora a alocação de capital gerado como consequência de segunda ordem do projeto concorrente também possa ser alocado. O raciocínio foi exposto, para demonstrar o potencial da alternativa.

Ano	Cenário 1 (R\$)	Aplicação	SFCR
0	-53.731,31	53.731,31	0,00
1	-553,60	59.104,45	0,00
2	-247,69	65.014,89	0,00
3	63,87	71.516,38	63,87
4	381,05	78.668,02	449,71
5	703,78	86.534,82	1.187,23
6	-895,92	95.188,30	1.276,27
7	13.648,51	104.707,13	15.020,49
8	13.987,43	115.177,84	30.134,46
9	14.331,54	126.695,63	46.726,09
10	14.680,70	139.365,19	64.911,24
11	15.034,75	153.301,71	84.814,33
12	15.393,51	168.631,88	106.568,91
13	4.426,61	185.495,07	118.988,19
14	16.124,36	204.044,58	144.036,67
15	16.495,98	224.449,03	171.335,40
16	16.871,36	246.893,94	201.056,91
17	17.250,19	271.583,33	233.386,37
18	17.632,15	298.741,66	268.522,49
19	18.016,85	328.615,83	306.678,53
20	18.403,89	361.477,41	348.083,31
21	18.792,83	397.625,15	392.982,39
22	19.183,17	437.387,67	441.639,24
23	19.574,40	481.126,44	494.336,58
24	19.965,93	529.239,08	551.377,75
25	20.357,13	582.162,99	613.088,22

Tabela 10 - Aplicação de segunda ordem

⁵ A Taxa SELIC em 11/2019 é de 6,5%, além disso, a TLP de IPCA+1,8% resulta em 8,35% a.a se somada a média do IPCA de 1999 a 2018, e 7,66% se somada a média do IPCA de 2008 a 2018. A TLP não é diretamente comparável à Selic, pois esta é uma taxa de prazo de um dia e que, portanto, varia ao longo de todo o financiamento. A comparação mais adequada é com as taxas de mercado livres de risco dos títulos públicos com os mesmos vencimentos dos financiamentos.

Para total transparência do racional das taxas de juros aplicada, foi levantado o valor do IPCA histórico, traçada a média dos últimos 10 anos e dos últimos 20 anos. Isso, pois para precificar taxa de juros na perpetuidade, usualmente se considera a TLP (Taxa de Longo Prazo) – a antiga TJLP ou taxa de juros de longo prazo –, que é obtida, segundo o BNDS, como a soma do IPCA+1,8% de prêmio de risco. A média do IPCA, para o horizonte de 10 anos, é de 5,86%, já de 20 anos, é de 6,55%.

A Figura 55 apresenta o histórico do IPCA e as médias de 10 e 20 anos, já a Figura 56 apresenta o gráfico explicativo da Anbima da TLP.

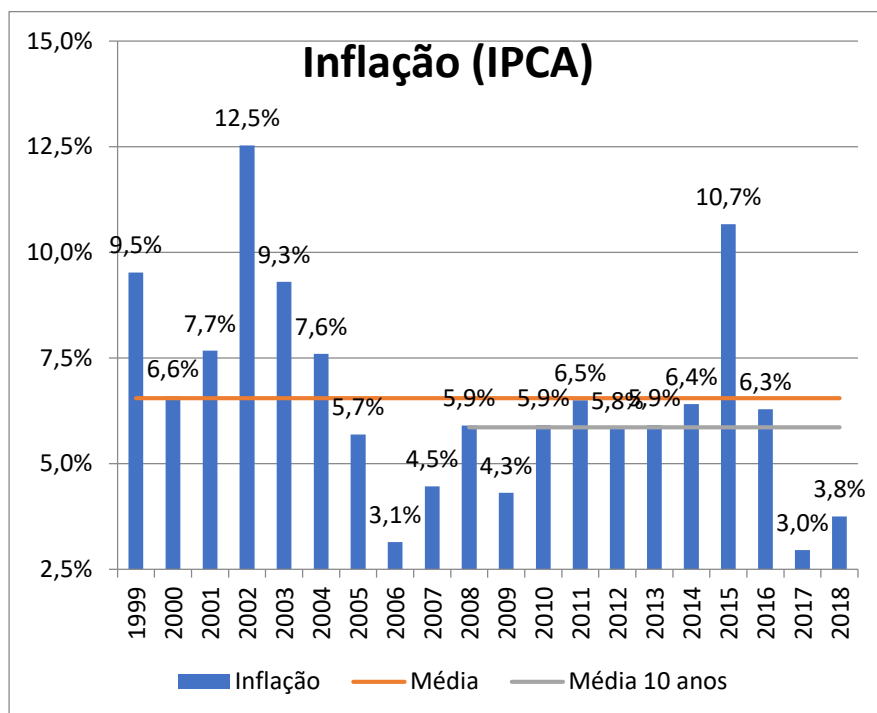


Figura 55 - Inflação histórica brasileira; Fonte: IBGE

TLP X TAXA REAL LIVRE DE RISCO

Data-base (Juro Real): 14/11/2019

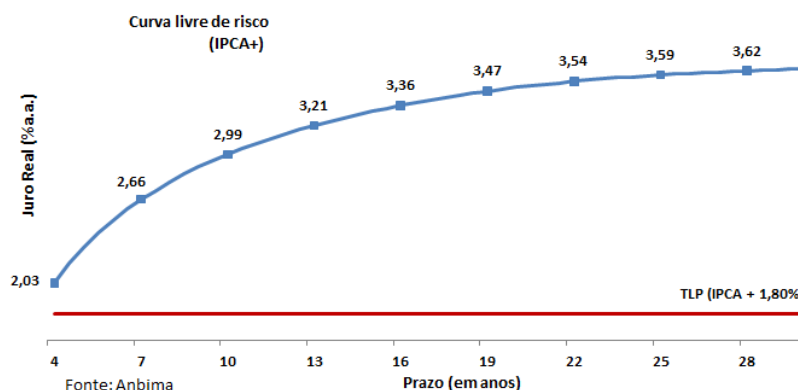


Figura 56 - Taxa de Longo Prazo (TLP); Fonte: BNDS - TLP

O gráfico da Figura 56 deixa ilustrada a competitividade da TLP frente às taxas de juros reais de mercado. Note que a TLP é única para qualquer prazo de operação.

O somatório do fluxo de caixa (FC), considerado da seguinte forma: Admite-se para a região: a insolação obtida na coleta de dados técnicos, e para a duração mensal e eficiência do sistema obtêm-se o montante de energia gerada, daí multiplica-se o valor dessa energia naquele ano. Ao passar do tempo, a eficiência do sistema diminui, a insolação se mantém e o preço da energia cresce. Utilizando-se da soma do valor gerado pelo sistema, soma-se o benefício do IPTU, e deduzindo custos (Seguros, FGC, Inversor, Principal e Juros, Manutenção e Operação), obtemos o montante total de “caixa gerado”⁶.

Payback: Para o estudo de caso, o retorno simples foi obtido em 5,43 anos e o retorno do capital próprio em 5,2 anos. O retorno simples obtido pela divisão do saldo inicial pelo valor gerado no primeiro ano, já o retorno de capital próprio acompanhando o fluxo de caixa especificamente.

4.9.1 TAXA INTERNA DE RETORNO E TAXA MÍNIMA DE ATRATIVIDADE

O cálculo do TIR para os cenários também foi determinado, para o cenário 1 de 12,30% e para o cenário 2 de 1,89%. Isso reflete a atratividade no primeiro caso, e o impacto do risco regulatório no segundo.

Em todos os cenários a taxa mínima de atratividade foi de 10% a.a.

4.10 Síntese

Observados todos os pontos precificados, o exemplo do estudo de caso feito, ilustra a aplicação da estratégia. Mesmo competindo, em termos financeiros na técnica tradicional de dimensionamento do custo de oportunidade, é necessário compreender a realidade de alguns casos específicos que sustentam a hipótese do investimento como alternativa de elevar a eficiência de pequenos negócios.

A Tabela 11 compara as variáveis finais financeiras, demonstrando que, caso as variáveis subjacentes sustentem a hipótese, o fluxo de caixa se altera positivamente, e o autor da manobra financeira eleva o próprio patrimônio, ao risco de manter viva a empresa desta conta de energia elétrica pelo tempo do financiamento, neste exemplo 72 meses. É necessário reforçar o risco de natureza regulatória, cuja alteração do regulamento do setor pode reduzir o valor da energia gerada.

⁶ É importante notar que o valor gerado em energia não é monetário, mas permite que o capital não seja gasto com energia elétrica. Ou seja, do orçamento com energia, será alocado valores para custear os itens do projeto, que somam menos que a situação original.

Categoria	Item	Horizonte de 72 meses		Após dívida	
		Inicial (R\$)	Final (R\$)	Inicial (R\$)	Final (R\$)
Impostos	IPTU	6.074,20	4.154,20	8.172,62	8.172,62
Dívida	Principal + Juros	0,00	14.210,81	0,00	0,00
Energia Elétrica	Tarifa mínima (R\$ 118)	1.416,00	1.416,00	1.905,18	1.905,18
	Custo do consumo (R\$)	12.987,17	0,00	16.338,33	0,00
Seguro	Danos Elétricos	0,00	186,95	0,00	251,53
	FGC (0,93 % CL)	0,00	500,00	0,00	672,73
Manutenção	Visitas técnicas	0,00	500,00	0,00	672,73
Total		20.477,37	20.967,96	26.416,14	11.674,80
Fluxo de Caixa Anual		0,00	-490,59	0,00	14.741,33
Inflação da Tarifa		3,90%			
Inflação IPCA (5/2000 a 9/2019)		5,07%			

Tabela 11 - Resumo do fluxo de caixa no início do investimento

Naturalmente, os riscos associados ao investimento tornam necessários a contratação de seguros e avaliações adjacentes, para viabilizar a aceitação de todos os *stakeholders* envolvidos na decisão. Exigências comuns são sistemas de proteção contra descargas atmosféricas (SPDA) por parte dos donos do capital ou do sistema físico.

A conclusão sobre a Tabela 11, em termos razoavelmente específicos, é que a estratégia se consolida ao oferecer a perspectiva que todos os *stakeholders* possuem segurança e resultado positivo. No horizonte de 6 anos, para a mesma operação espera-se aumento de 66% de R\$ 14.741,33 como lucro líquido adicionado anualmente, R\$ 9.729,28. Há de se considerar que 34% do valor se torna lucro tributável, para o caso do regime de lucro real, a alíquota aplicável é de 34%.

Os artifícios de elisão fiscal descritos na revisão bibliográfica são aplicáveis, tanto de depreciação acelerada, quanto de uso de dívida como alavancagem financeira, podendo reduzir a alíquota e originar o *tax shield*.

4.11 Redução da Pegada Ecológica

A emissão de CO₂ é reduzida em média, dentro do ciclo de vida do equipamento, em 1713 kg CO₂/kWp. Dessa forma, para o sistema proposto a redução da pegada ecológica proporcionada pelo sistema é de aproximadamente 21.58t de CO₂ no ciclo de vida (30 anos) de todos os painéis do sistema.

Esse benefício pode ser usado para valorização da marca (Intangível); além disso, obter certificações ambientais e associação a entidades de inovação, tecnologia e desenvolvimento. Como efeito de segunda ordem, essas certificações podem gerar mídia espontânea e mídia verde, que em termos finais, impulsionam a atividade primária da empresa que adotou o projeto.

4.12 Tópicos conclusivos

Diante do texto base, e das expectativas do modelo de análise proposta na metodologia, o texto abaixo comenta sucintamente o desenvolvimento referente a cada expectativa dos resultados.

- i. Modelagem do prédio a ser analisado, com lajes no topo, delimitando sombreamentos críticos e características particulares que foram mencionadas no primeiro bloco, ilustrando a racionalização da decisão baseada nas evidências obtidas. Com isso, a área útil, áreas sombreadas, inclinação adequada, diagramação dos módulos, espaçamentos verticais e horizontais e quaisquer outras informações relevantes.

Resultado: Nenhum fornecedor desenvolveu análises com o grau de profundidade necessário para uma avaliação completa do investimento. Ainda que o custo do sistema esteja intimamente relacionado a simulação do arranjo, essa superficialidade impõe ao empreendedor um maior risco e menor controle sobre suas expectativas. Devido a margem de lucro dos fornecedores estarem associadas às incertezas, uma apresentação muito detalhada é um risco que os fornecedores não buscam correr levemente e ao mesmo tempo, torna extremamente trabalhoso cada caso para efetuar uma venda.

O principal ponto focal nesta etapa é solicitar uma análise do comportamento de sombras no local dedicado. Daqui surgem: Área potencial; Área dedutível possível para IPTU; Diagramação dos módulos (Vertical/Horizontal) e espaçamentos de acesso; Direção do Norte Geográfico.

- ii. Caracterização completa do potencial solar fotovoltaico em ficha técnica resumida e intuitiva para orientação do tomador de decisão, sumarizando dados críticos.

Resultado: Para estes parâmetros as ferramentas disponíveis online são suficientes e muito precisas, sendo diferencial apenas quando bem apresentadas.

- iii. Levantamento de alternativas de arranjos, de diferentes fornecedores, com a produção anual prevista, período de implantação, vida útil, estimativa de custos de implementação e manutenção, valor da energia produzida.

Resultado: A produção anual prevista, pelo nível de sofisticação apresentado pode ser obtida multiplicando o apresentado por:

$$P_{Real} = P_{apt} \times 0,97 \times 0,90 \times 0,99 = 86,43\% \times P_{apt}$$

Isso para corrigir: Eficiência do inversor, perdas pelos dispositivos de segurança e transmissão, perda por sombreamento e arranjo não otimizado. Vale ressaltar que a não otimização do arranjo, usualmente somente não é possível pela disposição de elementos

estruturais não alteráveis. Além disso, para incluir custos de reforma para instalar o sistema há um certo limite financeiro. A vida útil dos sistemas deve ser de 25 anos; O período de implantação máximo de 112 dias, e de responsabilidade total do fornecedor; Na Figura 63, apresenta-se um gráfico interessante para compreensão da composição de custos nestes projetos, informação de extrema relevância para negociações.

Uma percepção interessante a se ter é: Onde está a margem de lucro do fornecedor?

Pelo gráfico da Figura 57: *Markup* de revenda de todos os itens e mão de obra especializada. Além disso, 70% do custo está concentrado em tecnologia importada e vinculada ao preço do dólar, dessa forma, mais uma incerteza sobre o *timing* de investimentos está nos vales de flutuação das moedas dos exportadores.

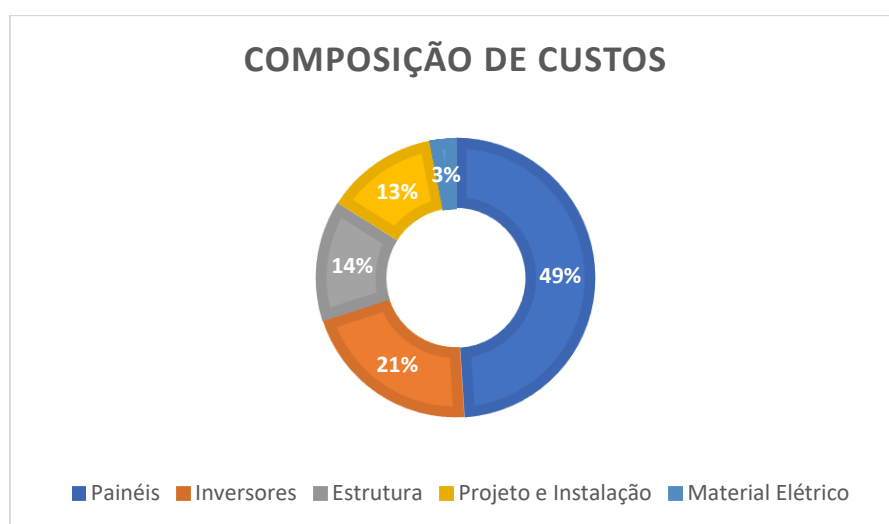


Figura 57 - Resumo da composição de custos de um SFCR

- iv. Benefícios e desvantagens esperados com a implantação do projeto, bem como listagem dos riscos reais associados a decisão.

Resultado: Neste ponto, não é possível ter consciência de todas as implicações, mas o investidor deve insistir em obter: Redução de emissão de CO₂; Risco de descarga atmosférica; Risco de Furto; Risco de danos físicos; Risco de ruína da empresa (para credor); Economia e eficiência empresarial; Mídia verde; Benefício fiscal; Benefício em IPTU; Valorização da marca (Intangível); Certificações Ambientais; Associação a entidades de inovação, tecnologia e desenvolvimento.

- v. Exemplificação de todas as variáveis em um estudo de caso didático, que apresente de forma completa a realidade de uma pequena empresa, e os impactos realistas esperados da aplicação do conhecimento e da tecnologia apresentado.

Resultado: O estudo de caso representa, de modo geral, os impactos e a sensibilidade de cada tópico.

Os quadros apresentados neste trabalho, e as informações levantadas sugerem: Inclinação dos painéis; temperatura de operação das células; eficiência dos painéis; inflação da tarifa; inflação IPCA; taxa de juros BNDS; Custo de Seguros; Custos de FGC; Custos de tarifa mínima; Preço da energia; Perda de eficiência dos módulos; Custo de inversores (R\$ 5 a R\$ 11 mil a depender da potência); Custo de módulos (R\$ 350 a R\$ 750); Impacto no IPTU;

Além destas, algumas informações úteis coletadas:

1. A representatividade do gasto de energia elétrica na empresa analisada neste caso é de 1,1 a 1,8% da receita bruta média mensal. O lucro líquido a ser obtido com a implementação da solução sofre aumento percentual no ano de cerca de 15% (+R\$ 14.700/ano)
 2. O custo de módulos fotovoltaicos de 330W varia de R\$ 600 até R\$ 750, e depende largamente do valor do US\$, embora acordos financeiros entre grandes fornecedores tenham congelado o preço do dólar para transações envolvendo o item.
 3. A área recomendada para consumos das pequenas empresas é de 50 até 100 m², o que em centros comerciais possibilita uma imensa oportunidade, assim como grandes galpões e lojas de atacado se tornarem intermediários de grandes sistemas (Carrefour, Extra, Atacadão, Leroy Merlin). Supõe-se que estes endereços, são controlados por gestores competentes e que usualmente permanecem por muito tempo numa localidade. Ainda que não tenham interesse próprio, por ter acesso a oportunidades de maior retorno, pode favorecer relações sinérgicas com lojas menores e fornecer à elas a energia por valores mais baixos que as concessionárias. O aluguel de espaço já é uma realidade comercial, e ameaça o modelo econômico do setor. Vale pontuar que empresas dentro da mesma região por vezes constroem parques solares para gerar benefício em localidades sem espaço, isso pois o espaço é mais barato em propriedades distantes de centros urbanos.
- vi. Relato da percepção governamental, por meio de representantes dos órgãos públicos responsáveis pela conjuntura do desenvolvimento da tecnologia no país. Dentro dos objetivos, busca-se traçar uma metodologia de identificação do público alvo, por meio da base de dados do arrecadamento de impostos e caracterização de microempresas que se beneficiariam apenas do conhecimento.

Resultado: Conforme discutido no tópico 4, da seção da Metodologia Aplicada, a percepção do governo é muito mais ampla que a dos outros agentes, mas de forma sintética, é disposto abaixo os principais motivadores e interesses da entidade genérica.

- a. Interesse positivo na tecnologia para reduzir uso de capital externo;
- b. Interesse negativo no aumento da complexidade operacional técnica associado ao advento da tecnologia.
- c. Interesse positivo na redução da “sede de capital” diante da menor solicitação da rede.
- d. Interesse negativo na propagação em larga escala da tecnologia devido ao seu aspecto inovador transformacional (Bansi Nagji, Harvard Business Review, 2012), o que ameaça o modelo econômico do setor.
- e. Interesse positivo no aumento do uso da tecnologia para incremento no inventário de potencial energético do país.

Além disso, para amplo uso da tecnologia, e mapeamento do público alvo adequado para eximir riscos desnecessários algumas recomendações serão dispostas abaixo:

- a. Selecionar empresas com mais de 5 anos e assiduidade fiscal;
 - b. Rastrear localidades comerciais de grande vantagem técnica (resiliência à mudança);
 - c. Sobrepor informações fiscais, de consumo de energia, de aspecto técnico para gerar mapa de calor para identifica áreas, gestores e empresas mais favoráveis para uma abordagem de incentivo.
 - d. Associar produtos financeiros para endereçar a necessidade de financiamento, associando aos dados levantados. Além de seguros e garantias de crédito pelo FGC;
 - e. Firmar acordos de *bonds* internacionais congelando o valor de moedas estrangeiras para importação da tecnologia fotovoltaica à preços menores;
- vii. Apresentação de material didático para o público proposto deste trabalho, para auxílio no estudo de viabilidade da alternativa, bem como investimentos tradicionais em material digital (slides).

Resultado: A apresentação digital e a planilha eletrônica automatizada, além do texto base deste trabalho, reunidos se tornaram o material pedagógico almejado.

5. CONCLUSÃO

Diante do exposto, a análise sobre projetos de implantação de tecnologia fotovoltaica para geração distribuída requer compreensão de múltiplas disciplinas para ser feita com assertividade, tais como: empresariais, econômicas, burocráticas, jurídicas, legislativas, financeiras, técnicas e ambientais. Além disso, para conceber projetos ambiciosos é necessário desenvolver ampla perspectiva sobre o setor, o histórico, os agentes envolvidos e as perspectivas para o setor por parte dos *stakeholders* mais influentes, para então precificar risco e prêmio para alocar capital.

O levantamento bibliográfico demonstra que não é necessário profundo conhecimento técnico para satisfazer a necessidade de se traçar premissas válidas e razoavelmente precisas para se realizar a extrapolação e projeção econômica do projeto. De maneira sintética, é possível sistematizar a análise projetos dessa natureza de forma a garantir taxas internas de retorno maximizadas. Além disso, consolidada uma metodologia funcional é possível construir acordos interdependentes entre os agentes do projeto para vincular o desempenho e condições de cada um deles para exercerem dentro do projeto, de forma a garantir que para o autor do projeto consiga controlar suas expectativas e as consolidar sem necessidade de grande dedicação executiva, mas de patrocínio dos contratos. As relações sugeridas são ganha-ganha em todos os cenários, o que indica que um esforço de negociação e comunicação é a variável mais influente para o sucesso dos projetos.

O estudo de caso demonstrou que o projeto é viável, desconsiderando a aplicação do risco regulatório que desvaloriza a energia produzida, e satisfaz as premissas traçadas na concepção deste estudo, um fluxo de caixa pouco afetado no momento do início do projeto e grande economia posterior. Com diversos mecanismos mitigadores de risco para todos os *stakeholders*, somado a um fechamento lucrativo, o projeto pode ser avaliado frente a um grande arsenal de alternativas de investimento com taxas de atratividade acima de até 12,5% a.a por 25 anos.

O VPL para o sistema sugerido de 12,6 kWp, admitindo financiamento, mecanismo mitigadores de risco, benefícios fiscais, incentivos governamentais e nuances tecnológicas, foi superior a R\$ 70 mil, utilizando uma TMA de 10%. Na conjuntura atual do setor, regulado pela resolução nº 482 da ANEEL em 2012, o projeto se provou muito consistente e atrativo, entretanto diante da eminência de uma atuação reguladora que subvaloriza a energia gerada por sistemas de geração distribuída, é possível que a atratividade caia para um VPL de R\$ 0 caso sejam aplicadas taxas na ordem 40% sobre cada kWh gerado. Os documentos de revisão da ANEEL até o momento sugerem que a sustentabilidade econômica do setor elétrico está em risco de desequilíbrio no longo

prazo, e que a intervenção é necessária. Sondagens preliminares sugerem uma aplicação de 10 a 20% de redução do valor do kWh gerado.

Observando o contexto histórico da tecnologia fotovoltaica, é crível presumir uma redução de custo da tecnologia na ordem de 33% nos próximos 5 anos, e a eficiência dos painéis evoluam em até 50% comercialmente nos próximos 2 anos. Além disso, as curvas de monitoramento do potencial instalado de energia solar apresentam comportamento exponencial de crescimento, o que novamente reforça a condição da tecnologia como inovadora e madura, e, potencialmente transformadora no presente e no futuro.

Outro ponto de interesse para o Brasil, está no fato de suas vantagens competitivas intrínsecas: vastidão territorial, grande potencial de irradiação solar, excelente clima, vastidão de recursos naturais chave para fabricação de tecnologia e grande interesse interno em desenvolver a nação. Para o nascimento de uma nova indústria, na qual o país pode se tornar líder mundial para exportação e uso, bastam esforços inteligentes para atrair capital intelectual e atratividade para desenvolvimento da indústria.

O mercado brasileiro tem demonstrado interesse na geração distribuída e o número de comerciantes do setor cresceu de maneira abrupta na última década, embora ainda tenha que desenvolver muitas habilidades para triunfar frente a competição emergente. Na leitura de diversos agentes, nacionais e internacionais, as principais barreiras para o desenvolvimento da penetração da tecnologia na sociedade estão na comunicação: De fato há muito capital disponível, há conhecimento em profundidade suficiente para implantação dos projetos, há interesse de agentes governamentais, há interesse de agentes do mercado privado e há força de venda barata disponível. Em síntese, o amadurecimento do discurso, o desenvolvimento de alianças sinérgicas e a efetiva comunicação que traduza o linguajar inacessível para diferentes agentes, será capaz de evoluir o mercado de geração distribuída.

Por parte de agentes regulatórios, foi analisado que há grande necessidade de mobilizar esforços inteligentes para criar um setor atrativo e equilibrado, o que é um grande desafio. Frente a inovações adjacentes e transformacionais, é preciso desafiar as primeiras premissas que construíram o mercado de energia elétrica. Apenas compreendendo o contexto, fronteiras e caracterizando bem um problema que se torna possível criar propostas equilibradas e favoráveis ao desenvolvimento sustentável. Neste ponto, também foi notado a crescente necessidade de comunicadores efetivos que traduzam a mensagem de agentes de negócios e agentes técnicos que regulam e monitoram a matriz energética brasileira para com os outros agentes do setor, e mesmo adjacentes a ele, como políticos, juízes e pessoas com grande influência no setor e pouca compreensão do impacto e implicações de suas decisões.

Na perspectiva do pequeno empreendedor, foco deste trabalho, foi percebido a grande vantagem oferecida pela tecnologia, e desmistificada a complexidade que bloqueia a compreensão e aplicação da alternativa tecnológica. É fato, segundo o SEBRAE, que cerca de 76% dos motivos de ruína de empresas nos primeiros 5 anos está na gestão financeira e empresarial, pois é comum que o empresário brasileiro médio seja um empreendedor por necessidade, dessa forma, para comunicar com essa comunidade a simplicidade da linguagem e facilidade de soluções devem ser altos para real efetividade. Mas, fica claro, adicionalmente, que para o amadurecimento econômico das empresas, e consequente seleção de alternativas altamente agregadoras de valor, por parte dos tomadores de decisão do mercado privado, é preciso que a persona do empreendedor se modifique no médio e longo prazo. Isso se pauta precisamente no grau de refinamento de informações complexas desenvolvidas na academia e no mundo que precisa ocorrer para ser efetivamente acessado, pois embora possa haver esforços amplos de incentivo a tecnologias e alternativas, há outra grande barreira que precisa ser enfrentada, a educação básica e a educação empresarial da comunidade de tomadores predominante no Brasil.

Para usuários da informação que ambicionem aplicação em larga escala da tecnologia, fica claro que é possível articular acordos entre entidades que criam VPL positivo com esforço apenas de comunicação, negociação e apetite à risco. Grandes grupos imobiliários, redes de lojas físicas e grandes entidades de logística, podem criar acordos de impacto nacional, apenas por meio de *funding* e gerar valor massivo sem necessidade de dispor de capital. Esses agentes maiores, normalmente operam com uso de alavancagem financeira e essa, de aplicação de tecnologia fotovoltaica, oferece benefícios fiscais, financeiros, tributários ao custo de ocupar espaço da composição da dívida da alavanca utilizada.

5.1 Sugestão para trabalhos futuros

Como sugestão para trabalhos futuros, sugere-se o esforço de programadores para que usem o BIG DATA: de dados financeiros da receita federal, de geolocalização de empresas, de dados solarimétricos públicos, de linhas de crédito disponíveis para um público alvo específico, dados dos empresários qualificados (*Leads*), *softwares* de análise de investimentos. A fusão dessas informações pode oferecer maneiras de mapear o potencial de crescimento da tecnologia na sociedade e nas regiões, a elaboração de projetos estratégicos, caracterização do “cliente” médio dos sistemas, onde estão, quanto de capital podem assumir etc. Nada mais vantajoso para penetrar em um mercado, é conhecer exatamente a necessidade das pessoas e caminho para endereçar essa necessidade.

O uso deste trabalho, como exemplo, em situações educacionais para a classe empreendedora é um exemplo também de desenvolvimentos de pesquisa futuros. O

modelo de educar as pessoas é largamente influenciado pela qualidade do material utilizado, e uma construção inteligente de fluxo didático pode despertar interesse de múltiplas formas.

A consolidação deste trabalho está no grau máximo de simplificação que foi possível alcançar, trazendo da complexidade a inteligência e a inovação. Como sugestão fica ainda uma proposta de elaboração de metodologias e mecanismos didáticos para melhor apresentar informações, ensinar conceitos e aplicar conhecimento.

Outros estudos de caso com este grau de aprofundamento, em empresas, em casas unifamiliares, lotes multifamiliares, edifícios altos, galpões, lojas físicas grandes, shopping centers e outros, podem oferecer mais cenários para encontrar uma taxa de imposto equilibrada sobre o kWh produzido por um micro ou mini gerador de energia elétrica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2016 Renewable Energy Data Book. (2017) U.S Department of Energy

Agência nacional de energia elétrica – ANEEL Resolução normativa nº 482, de 17 de abril de 2012

Atlas brasileiro de energia solar / Enio Bueno Pereira; Fernando Ramos Martins; Samuel Luna de Abreu e Ricardo Rüther. – São José dos Campos: INPE, 2006. il. 60p.;

Atlas de Energia Elétrica, ANEEL 2005. Disponível em na internet no endereço eletrônico : <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/download.htm>> Acessado em 4/2019.

Atlas Solarimétrico do Brasil: banco de dados solarimétricos /coordenador Chigueru Tiba... et al.- Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. 111 p.: il., tab., mapas.

DUARTE, M. M. (2016). Análise técnico-econômica acerca da implementação de geração solar fotovoltaica no Centro de Ensino Médio Taguatinga Norte. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, 2016, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 153p.

Fraunhofer ISE, Annual Report 2018/2019. (2019)

IRENA (2016) The power to change: solar and wind cost reduction potential to 2025, published in 2016, International Renewable Energy Agency. < <https://www.irena.org/> > Acessado em 05/2019

Lawrence J. Gitman. (2011). Princípios de Administração Financeira 10ª edição. Pearson, Assison Wesley, São Paulo. 361 p.

MASTERS, GILBERT M. (2004). Renewable and efficient electric power systems / Gilbert M. Masters. 676 p.

Norma técnica de distribuição ntd – 6.09 Ago/2014 requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB-d – conexão em baixa e média tensão

ONUDI – Módulo de Energia Solar Fotovoltaica (2016). 91 p.

Portal Solar, site: <<https://www.portalsolar.com.br/a-melhor-direcao-do-painel-solar-fotovoltaico.html>>, <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-solar/energia-heliotermica-entenda-como-funciona.html>>, Acessado em 5/2019.

Reboita M.S., Pimenta A.P. e Natividade U.A. 2015. Influência da inclinação do eixo de rotação da terra na temperatura do ar global. Terra Didática, 11(2):67-77. < <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/> > Acessado em 11/2019

RÜTHER, RICARDO (2004). Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil / Ricardo Rüther. – Florianópolis: LABSOLAR, 2004.114 p.: il.

Strom Brasil, site:< <http://www.strombrasil.com.br/sistemas-on-grid-e-off-grid/>>, acessado em 5/2019.

SunData. Site:<<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>, acessado em 5/2019.

SWERA.Site:<[https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_\(SWERA\)](https://openei.org/wiki/Solar_and_Wind_Energy_Resource_Assessment_(SWERA))>, acessado em 5/2019.

TAVARES, J. (2014). Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos. 530p.

Téchne, site:<<http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/188/artigo285977-2.aspx>>, acessado em 5/2019.